معالجة مياه الصرف الصناعى

مهندس إستشارى

محمد أحمد السيد خليل

المكتبة الأكاديمية
شركة مساهمة مصرية
الحاصلة على شهادة الجودة
ISO 9002
Certificate No.: 82210
03/05/2001

معالجة
مياه الصرف الصناعى

معالجة
مياه الصرف الصناعى

مهندس إستشارى

محمد أحمد السيد خليل

الناشر

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

٢٠٠٧

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٧م - ١٤٢٧هـ

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ١٨,٢٨٥,٠٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة

القاهرة - جمهورية مصر العربية

تليفون : ٧٤٨٥٢٨٢ - ٣٣٦٨٢٨٨ (٢٠٢)

فاكس : ٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

١- مقدمة:

الصناعة هى النشاط الهام الذى تعتمد عليه الدولة فى سياستها التنموية، ورغم أن الصناعة دخلت مصر مع مطلع القرن الـ ١٩ إلا أن الاستغلال الصناعى للموارد الطبيعية زاد مع مطلع القرن العشرين حيث ظهرت الصناعات الغذائية وصناعة المنسوجات والأسمدة. وفى أوائل الخمسينات من القرن الماضى تطورت الصناعة حيث أدخلت الصناعات الثقيلة مثل الحديد والصلب وصناعة الآلات والمعدات والكيماويات. لقد كان التركيز فى هذا الوقت على توطين هذه الصناعات فى المناطق الحضرية والعواصم وعلى إمتداد دلتا النيل وشمال وجنوب القاهرة وخاصة فى حلوان وشبرا الخيمة، كفر الزيات، طلخا، ومنطقة الاسكندرية الحضرية وفى أسوان ثم إدفو جنوباً.

وقد تغير نمط الصناعة من الإنجليزى والفرنسى ماقبل عام ١٩٥٠ إلى النمط الشرقى من عام ١٩٥٢ حتى نهاية السبعينات من القرن الماضى ثم العودة إلى النظم الغربية والأمريكية ما بعد الثمانيات حتى الآن. وقبل تطبيق نظام قطاع الأعمال العام كانت وزارة الصناعة تمتلك وحدها ٧٢% من إجمالى الصناعات الرئيسية العامة تليها وزارة الإقتصاد ٩%، ثم وزارة التموين ٨%، وباقى ١١% موزعة مابين وزارة الدفاع، الكهرباء، الزراعة، والإسكان والصحة.

بعد تأميم كل الصناعات عام ١٩٥٦، كان الهدف هو تنمية الصناعات والحصول على عائد سريع لهذه الاستثمارات، ولم يكن هناك الاهتمام المناسب بالأثر السلبى للبيئة الناتج عن هذه الصناعات. ورغم أن القانون رقم ٩٣ الخاص

بصرف مياه الصرف صدر عام ١٩٦٢ إلا أن تطبيقاته لم توضع وضع التنفيذ، ولم يكن هناك إهتمام بالمراجعة والتفتيش لتنفيذ هذه القوانين وخاصة بالنسبة للمصـــانع المملوكة للدولة. وكانت النتيجة هى أن مياه الصرف الصناعى الغــير معــالج تــم صرفها مباشرة فى النيل والمصارف والبحيرات والبحر.

ثم فى عام ١٩٨٣ زاد الوعى بأهمية المحافظة على البيئة وأثــر ذلــك علـــى التنمية وذلك لما تمثله الملوثات من الصرف الصناعى من أخطار علـــى الصحــة العامة والبيئة. حيث قامت هيئة التصنيع بعمل أسبقيات لمعالجة المخلفات الصناعيـــة لعدد ١٨٨ مصنع عام ١٩٨٥ وأعطيت أسبقية لمعالجة سوائل الصرف الصنـــاعى التى يتم صرفها على النيل وفروعه وعلى المصارف وشبكات الصرف الصحـــى. ولكن باستثناء عدد محدود جداً الذى تم تنفيذه ومنها مصنع الكوك فى التبين لمعالجة مياه الصرف التى بها فينولات ثم استمر الوضع إلى ما كان عليه.

ومع صدور قانون البيئة رقم ٤ لعام ١٩٩٤ وإنشاء وزارة الدولة لشــئون البيئــة زاد الاهتمام بحماية البيئة من مخلفات الصرف الصناعى إلا أن هذا الاهتمـــام لــم يواكبه إستيعاب لتقنيات التداول والمعالجة للمخلفات الصناعية وما تضيفه من عــائد إقتصادى وخفض فى تكاليف الإنتاج الناتج عن نظم المعالجة التى تحقــق التدويــر وإعادة الاستخدام للخامات والمواد الوسيطة والمنتجات النهائة بدلا مـــن التخلــص منها هذا بالإضافة إلى ما تضيفه هذه التقنيات من المحافظة على البيئة.

٢- *الآثار السلبية للصرف الصناعى*:

يعتبر الصرف الصناعى من أهم مصادر التلوث لمياه النيل والمصارف وذلــك لما يضفيه من مسببات السمية والتلوث طبقاً لنوع الصرف الصناعى ومن بينها مياه الصرف الصناعى المحتوية على المعادن الثقيلة المذابة والتى يصعب التخلص منها بطرق المعالجة التقليدية حيث تصل هذه المواد إلى مياه الشرب مسببة للأمـــراض

بالإضافة إلى دخولها فى أنسجة الأحياء المائية مثل الأسماك وكذا الحاصلات الزراعية. وكذلك سمية المركبات العضوية وغير العضوية المذابة والتى تتطلب معالجات خاصة، وكذلك حالة مياه الصرف الصناعى الحامضية أو القلوية أو محتواها من المواد الصلبة العالقة وهذه من مسببات التلوث للمسطحات المائية التى يتم الصرف عليها وكذلك حدوث تلف وانسداد لشبكات المواسير وأنظمة الصرف. هذا بالإضافة إلى أن كل هذه الملوثات تسبب الإعاقة للأداء البيولوجى فى محطات المعالجة التقليدية بما تسببه من سمية للكائنات الحية الدقيقة. ومن سوائل الصرف الصناعى المسببة للتلوث مياه التبريد فى المصانع وخاصة فى محطات توليد الطاقة ومعامل تكرير البترول حيث تصرف هذه المياه ذات درجة الحرارة المرتفعة والتى تزيد عن ٤٠°م بما يسبب خفض فى الأكسجين المذاب فى الماء والذى تحتاجه الأحياء المائية لاستمرار بقائها، بالاضافة إلى أن إرتفاع درجة حرارة المياه يميت هذه الكائنات المائية فى بعض مراحل تكاثرها ونموها. هذا بالإضافة إلى الفقد فى الطاقة نتيجة الصرف لمياه التبريد المسببه للتلوث الحرارى، وفى حالة ترشيد هذه الطاقة يمكن استخدامها فى أنشطة إنتاجية مع الحد من التلوث. لقد أثبتت الدراسات البحثية أن التلوث الناتج من كثير من العمليات الصناعية هو لعدم كفاءتها الإنتاجية بما يتطلب رفع الكفاءة الإنتاجية لهذه المصانع للحد من التلوث بدرجة كبيرة. حيث لوحظ أنه فى الصناعات التعدينية والغذائية وفى مصانع الزيوت والصابون وصناعات أخرى أن العملية الصناعية ليست بالكفاءة المطلوبة، وذلك لاحتواء المخلفات السائلة من هذه الصناعات على كميات كبيرة من الخامات والمواد الوسيطة المستخدمة فى الإنتاج بالإضافة إلى المنتج النهائى لعملية التصنيع نفسها. وهذا النوع من المواد يعتبر إستنزاف للموارد وخسارة مباشرة للصناعة بالإضافة إلى أنه إضافة كبيرة لمصادر التلوث.

التقنيات الحديثة للحد من التلوث قد تطورت بما يمكن من التعامل مع الملوثات الصناعية لكل نوع من الصناعات. بالإضافة إلى العمل على رفع كفاءة الإنتاج مـــن خلال تطوير تقنيات الإنتاج للمحافظة على كفاءة اســـتخدام الخامـــات والمنتجـــات وتحقيق عائد إقتصادى مع الحد من التلوث وفى مجال التطويـــر تتبنـــى التقنيـــات الحديثة مبدأ الحد من المخلفات الصناعيـــة وتحقيـــق أقصـــى إســـتغلال للطاقـــة (Conservation of Material and Energy). وقد لوحظ أنه فى حالة ترشيد اســـتخدام الموارد الطبيعية أدى ذلك إلى خفض التكاليف والحد من مشاكل التلوث.

٣- مصادر مياه الصرف الصناعى وما تحمله من ملوثات:

كل العمليات الصناعية ينتج عنها مياه صرف صناعى والتى يجـــب أن تعـــود إلى الطبيعة ومصادرها هى:

- مياه العمليات الصناعية المستخدمة لعمل مجال مائى للصناعة ثم التخلـص منها، مياه عمليات غسيل ونظافة الخامات والمنتجات، مياه فصل الخامات، مياه الشرب.
- مياه التبريد للعمليات الصناعية المختلفة والذى يمكن أن يكـــون بـــالتمرير لمرة واحدة أو لعدة مـــرات (Multiple Cycle Cooling System). نظـــام التبريد للمرة الواحدة تستخدم كميات ضخمة من المياه مرة واحدة وتعـــود ثانيا إلى الطبيعة، نظام التبريد بالتدوير لعدة مرات حيث تســـتخدم أبـــراج تبريد مختلفة الأنواع لتصريف الحرارة الزائدة إلى الجو وهذه تحتاج إلـــى الغسيل والنظافة من آن إلى آخر لمنع تراكم الأملاح والتراكم البيولوجـــى (Biofouling).

- مياه الصرف الصحى: وهو ناتج المياه من استخدامات العاملين وصرف مياه الأمطار. مياه الصرف الصحى يتم معالجتها فى محطات معالجة الصرف الصحى بواسطة المرفق وذلك لمنع إنتشار البكتريا المسببة للأمراض الوبائية. عادة مياه الصرف الصناعى لاتسبب تلوث بالقدر الكافى بفعل الكائنات الدقيقة الممرضه ولكن بفعل التفاعلات الكيماوية بالطرق المباشرة أو غير المباشرة.
- بعض مياه الصرف الصناعى تتحلل بسرعة حيث أكسدتها بالاكسجين سريعة، والبعض الآخر سام ويسبب مخاطر على البيئة. وإن كانت مياه التبريد والتى تشكل ٦٠% من مياه الصرف الصناعى هى أقلها خطورة إلا أنه يمكن أن تحتوى على مياه العمليات الصناعية نتيجة التسرب فى أنظمة التبريد، حيث نظم تدوير وإعادة الاستخدام لمياه التبريد تزيد من تركيز الملوثات العضوية وغير العضوية بما قد يسبب تلف للمعدات.

٤- الملوثات فى مياه الصرف الصناعى وأثرها على المسطحات المائية:

طبقا لنوع الصناعة فإن الملوثات التى يلزم إزالتها قبل الصرف على المسطحات المائية كالآتى:

- المواد العضوية: وهذه تسبب إنتقاص فى الأكسجين المذاب والذى يؤثر على حياه الكائنات المائية.
- المواد الصلبة العالقة: وهى ترسب فى المجارى المائية مكونة طبقة من الرواسب المحتوية على المواد العضوية التى تتحلل ببطئ مسببه نقص فى الاكسجين المذاب وتصاعد غازات ضارة.

- المواد العضوية المسببه للمذاق والرائحة: حيث عند استخدام المجرى المائى كمصدر لمياه الشرب فإن الفينول والمواد العضوية سوف تغير من مذاق ورائحة المياه. وفى حالة عدم إزالة هذه الملوثات قبل الصرف فتسبب الحاجة إلى معالجة إضافية لمياه الشرب بالإضافة إلى المعالجة التقليدية بالمرشحات.

- المعادن الثقيلة، السيانيد، والمواد العضوية السامة: وهذه من مسببات السمية والأمراض المزمنة بما يلزم إزالتها.

- اللون والعكارة: وهذه تسبب مشاكل بالنسبة للشكل العام للمياه فى حالة كونها غير ضارة أحيانا.

- النيتروجين والفوسفور: وهذه تساعد على نمو الطحالب والنباتات المائية كما أنها مسببة للسمية للكائنات المائية.

- المواد المئيعة غير القابلة للتحلل البيولوجى: وهذه تسبب تسمم لكائنات المائية وبعضها يحدث رغاوى كما فى حالة المنظفات الصناعية.

- المواد الطافية والمتطايرة: وهذه تسبب عتامة للمياه، كما أن المواد المتطايرة مثل كبريتيد الهيدروجين تسبب تلوث.

ولذلك فإن القوانين والقرارات المنظمة للصرف لمياه الصرف الصناعى تحدد المعايير والنسب لمختلف الملوثات قبل الصرف على المسطحات المائية وكذلك قبل الصرف على شبكات الصرف الصحى والاستعمالات الاخرى.

٥- إن التداول الصحيح واستخدام طرق المعالجة المناسب لاتحقق عائد بيئى فقط بل كذلك عائد إقتصادى حيث يمكن إستعادة المواد الخام والوسيطة والمنتج النهائى من مياه الصرف هذا بالإضافة إلى تدوير وإعادة إستخدام المياه حيث

فى كثير من الصناعات يعتبر تدوير المياه ذو عائد إقتصادى كبير لما يحققه متى وفر فى نظم المعالجة طبقاً لمتطلبات الصناعة والذى يمكن أن يصل إلى ٧ مليار متر مكعب سنوياً، ٦٠% منها نتيجة تدوير مياه التبريد.

٦- فى هذا الإصدار تم تناول موضوعات الصرف الصناعى والتخلص الآمن من المخلفات الصناعية فى ١٤ فصل:

- **فى الفصل الأول:** تم تناول تداول مياه الصرف الصناعى.
- **فى الفصل الثانى:** تم إستعراض الإطار العام لنظم معالجة مياه الصرف الصناعى.
- **وفى الفصل الثالث:** تم استعراض طرق التصنيع وكذلك معالجات الصرف الصناعى للصناعات المعدنية والصناعات البترولية والمنسوجات ودباغة الجلود والصناعات الدوائية والغذائية.
- **وفى الفصل الرابع:** تم تناول معالجة مياه الصرف للصناعات الكيماوية.
- وتم تخصيص **الفصل الخامس** لتوضيح متطلبات المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى.
- **والفصل السادس:** التعادل للمياه الحامضية أو القلوية.
- **الفصل السابع:** تناول إزالة المعادن الثقيلة.
- **أما الفصل الثامن:** تم تخصيصه لطرق المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعى.
- **وخصص الفصل التاسع:** لمعالجة التلوث الحرارى لمياه التبريد.

- **الفصل العاشر**: تناول التداول ومعالجة الحمأة والزيوت والشحوم من المخلفـات الصناعية.

- **الفصل الحادى عشر**: خاص بالملاحق.

والله أسأل أن يحقق هذا الإصدار ما نرجوه من الإفادة،،،

واللــه الموفق،،،

المؤلف

مهندس إستشارى

محمد أحمد السيد خليل

قائمة المحتويات

الموضـــوع	الصفحة

الموضـــوع	الصفحة

الفصل الأول

التداول لمياه الصرف الصناعى

١- مقدمة:

تعتبر طرق المعالجة لمياه الصرف الصناعى من التقنيات الحديثة، ولكنها فى نفس الوقت سريعة التطوير والتحديث. توجد إختلافات كثيرة فى مكونات وتركيز مياه الصرف الصناعى من صناعة إلى أخرى وكذلك من مصنع إلى آخر لنفس المنتج الصناعى، وكذلك من يوم إلى آخر أو من ساعة إلى أخرى فى المصنع الواحد. وكان ذلك هو الدافع لتطوير طرق المعالجة التقليدية وتبنى عمليات تكنولوجية طبيعية وكيميائية وبيولوجية وتقنيات جديدة كلية لمعالجة مياه الصرف الصناعى.

نظراً للحرص الشديد للمحافظة على نوعية المياه، فقد زاد الاهتمام نحو الصناعة كأكبر مستخدم للمياه وبالتالى من أكبر مصادر تلوثها. العمليات الصناعية من كل نوع ولكل المنتجات تنتج تركيزات عالية من الملوثات تزيد عن تلك الموجودة فى مياه الصرف الصحى، ولهذا أصبح لزاما على كل مهندسى البيئة سواء فى مجال الهندسة الصحية أو فى مجال الصناعة القدرة على تصميم ومعالجة أى أو كل أنواع المخلفات. كما أن محدودية المساحات المتاحة أوجبت المعالجة المشتركة لمخلفات الصرف الصحى والصرف الصناعى. ولذلك أصبح من واجبات مهندسى الهندسة الصحية تقييم مدى المعالجة لمخلفات صناعية معينة فى محطة معالجة مياه الصرف الصحى وتقدير متطلبات المعالجة المسبقة. ولكن زيادة

وتطور الصناعة زاد من تعقيد تدفقات مياه الصرف الصناعى والذى ترتب عليه أهمية توفير عناصر متخصصة فى معالجة مياه الصرف الصناعى.

إن معالجة مياه الصرف الصناعى لايمكن أن تنفصل عن المشكلة الكبيرة والتى هى إدارة المخلفات الصناعية. حيث يمكن للمصنع ممارسة بعض من التحكم بالنسبة لكمية ونوعية تدفقات مياه الصرف وذلك باختيار خامات بديلة و/أو باستخدام طرق إنتاج بديلة، ولذلك فإن إخصائى معالجة مياه الصرف الصناعى يجب أن يكون لديه معلومات إضافية عن العلاقة بين المواد وبدائل التصنيع وكذلك وخواص تدفقات مياه الصرف الصناعى.

لاتوجد صناعتين متماثلتين فى طبيعة وكمية مياه الصرف التى تنتج من كل منهما. حتى فى نفس المصنع الواحد فإن تدفقات مياه الصرف ومكوناتها تختلف بين المصانع المنتجة لنفس المنتج النهائى بما يزيد أحيانا عن ألف ضعف.

فى أى مصنع يختلف معدل تدفق ومكونات الصرف الخام خلال اليوم وذلك طبقا لمعدل الإنتاج وورديات الانتاج وعمليات التنظيف...الخ. كذلك فإن التغيرات الموسمية هى من خواص كثير من الصناعات وخاصة تلك التى تعتمد على المواد الخام الطبيعية مثل الحاصلات الزراعية.

التغير فى التركيز وفى المكونات وفى معدل التدفق لمياه الصرف الصناعى للمصانع المنتجة لنفس النوعية للمنتج النهائى تتطلب توفر معايير تصميمية لمعالجة مياه الصرف الصناعى والتى تتم طبقا لبرنامج إدارة المخلفات والتى يتم تصميمه لتناول مشاكل التلوث لصناعة معينة.

٢- مبادئ وطرق إدارة ومعالجة المخلفات الصناعية:

الخطوة الأولى فى هذا المجال هى المباحث الأولية والتى تعتبر ذات أهمية كبيرة حيث تشمل تصنيف المخلفات، الأعمال المساحية للمصنع، التحاليل المعملية

وعمليات أخرى. يلى ذلك إختيار تقنيات حل مشكلات معينة كما أظهرته عمليات المباحث الأولية حيث يتم الرصد والتحكم وخفض المخلفات ومعالجة المخلفات والتخلص من المخلفات.

أ- المباحث الأولية:

الخطوة الأولى فى المباحث الأولية هى معرفة معايير الصرف للمخلفات السائلة طبقاً لقانون البيئة رقم ٩٤/٤. ملحق (ب).

الملحق (أ) يوضح التحاليل المعملية لمياه الصرف ومعايير الصرف على المسطحات المائية غير العذبة وكذلك الصرف فى شبكة المجارى العامة. يلى ذلك تصنيف المخلفات القابلة للمعالجة فى محطات الصرف الصحى وتلك التى لاتتوافق مع نظم معالجة مياه الصرف الصحى. وعلى هذا الأساس تتم المعالجة المسبقة حتى تصبح مياه الصرف الصناعى مطابقة لمعايير صرفها أو معالجتها فى محطات الصرف الصحى. الملحق (ج) يوضح حسابات المعالجة المسبقة.

ب- الملوثات فى مياه الصرف الصناعى والتى يمكن معالجتها فى محطات معالجة مياه الصرف الصحى:

وهذه تشمل معظم الصناعات الغذائية وبعض الصناعات العضوية الأخرى التى تنتج مخلفات خام مشابهة إلى حد ما لمخلفات الصرف الصحى. ولكن المخلفات الصناعية قد تكون أكثر تركيزا أو أقل تركيزا عن مخلفات الصرف الصحى. مثل هذه المخلفات السائلة يمكن خلطها فى شبكات الصرف الصحى العادية ومعالجتها فى محطات الصرف الصحى على أن يراعى الزيادة فى التحميل والتركيز وعمل المعالجة المسبقة إذا لزم الأمر ليمكن الصرف على شبكة الصرف الصحى طبقاً للمعايير المقررة.

فى حالة الصرف على شبكة الصرف الصحى حيث تتم المعالجة فـــى وحـــدة معالجة مياه الصرف الصحى المحلية بما يوفر ميزة كبيرة للصناعة. ونظـــراً لأن المحليات تقوم بتشغيل وصيانة محطة المعالجة، فإن الصناعة تكون مســئولة فقـط عن المساهمة فى التكاليف وكذلك إجراء المعالجة المسبقة. وفى حالات كثيرة قـــد لاتتوفر وحدة معالجة تابعة للمحليات، أو أن المنشأة الصناعية لديها وحدة معالجـــة خاصة بها.

المعالجات التى تتم فى محطة مياه الصرف الصحى تشمل المعالجـــة الأوليـــة والمعالجة الثنائية. المعالجة الأولية عادة تشمل المصافى كبيرة الفتحات والترســيب حيث يزال جزء كبير من المواد الصلبة العالقة، مع التداول الجيد للمـــواد الصلبـــة الصناعية القابلة للترسيب شريطة عدم التحميل الزائـــد أو أن تكـــون الحمـــأة ذات خواص غير عادية. أما المعالجة الثنائية أو البيولوجية والتى تتم بالحمأة المنشطة أو بالمرشحات الزلطية والتى تشمل كذلك طرق معالجة بيولوجية أخرى وذلك لأكسـدة وتحلل الجزء الكبير من المواد العضوية فى مياه الصرف. هذه المواد العضوية يتـم قياسها وتقييمها عادة بالاكسجين الحيوى المطلوب ويرمـــز لـــه بـــالرمز BOD_5 (Biological Oxygen Demand). أو بواسطة قياسات أخـــرى وهـــى الأكســـجين الكيماوى المطلوب (Chemical Oxygen Demand - COD) أو الكربون العضـــوى الكلى (Total Organic Carbon - TOC). المكونـــات العضويـــة القابلـــة للتحلـــل البيولوجى يمكن إزالتها شريطة عدم تلف ظروف التكاثر البيولوجى، حيث يمكن أن يتم هذا التلف بفعل المكونات السامة، إرتفاع أو إنخفاض الرقم الـــهيدروجينى (pH) ودرجات الحرارة، عدم توفر غذاء البكتريا من المواد النيتروجينية والفوســفور، أو بالتحميل الزائد من المواد العضوية.

المعالجة البيولوجية اللاهوائية أو الهضم (Digestion) يستخدم عادة لكل مـــن الحمأة الأولية والثنائية لمخلفات الصرف الصحى وذلك لتقليل الحجم وتحلل وتثبيـت

المواد العضوية. المخلفات الصناعية التى تتوافق مع مخلفات الصرف الصحى فى المعالجة الأولية والثنائية تنتج حمأة تتوافق مع التحلل اللاهوائى لحمأة الصرف الصحى أو قد تكون قابلة للمعالجة بنظام خاص. الكلورة للتطهير ليست مطلوبة عادة. بعض الكيماويات المختزلة مثل أملاح الحديدوز، (Sulphides & Sulphites) تزيد من مطالب الكلور للتطهير ولذلك فإن مثل هذه المواد يلزم إزالتها أو تدميرها قبل وصول المخلفات إلى عملية الكلورة والتى تكون عادة المعالجة الأخيرة قبل الصرف.

ج- الملوثات فى مخلفات الصرف الصناعى التى لاتعالج فى محطات الصرف الصحى: (In Compatible Pollutants)

مقارنة بالمخلفات من الصناعات الغذائية والصناعات الأخرى والتى يمكن معالجتها بنفس طرق المعالجة التقليدية المستخدمة لمياه الصرف الصحى، فإن كثيراً من المخلفات الصناعية تحتوى على ملوثات التى لا تتوافق مع معالجة مياه الصرف الصحى. أكثر هذه الأنواع التى لا تتوافق مع عمليات المعالجة هى التى تتداخل مع عمليات المعالجة مثل قتل أو إعاقة الكائنات البيولوجية بالمواد السامة. وهذه تشمل السيانيد، المعادن الثقيلة، الأحماض، والزيوت البترولية والشحومات. هذه المواد فى حالة وجودها بتركيزات مخففة تمثل نوع آخر من عدم التوافق حيث أن الملوث لا يؤثر ولا يتأثر بعملية المعالجة، حيث يمر خلال محطة المعالجة إلى المسطح المائى بدون أى تغير باستثناء درجة قليلة من التخفيف. كذلك توجد معايير للحد من دخول بعض المواد الأخرى إلى محطة المعالجة مثل المواد القابلة للاشتعال والمواد المتفجرة والمخلفات العدوائية والمخلفات اللزجة أو الصلبة والتى تعيق حسن الأداء للمحطة وكذلك التغير الشديد فى معدلات التدفق أو أحمال المخلفات. كثير من الصناعات الكيماوية والتعدينية تنتج ملوثات لا تتوافق مع الصرف الصحى المنزلى بالنسبة لخطوط المواسير والمعالجة. لذلك فإنه يجب

إزالتها أو إعاقة نشاطها (مثل صرف المخلفات فى شبكة الصرف الصحى أو المعالجة المحلية بالطرق البيولوجية).

التوصيف الأخير للملوثات سواء كانت متوافقة أو غير متوافقة يجب أن يبنى على دراسة معينة لنظام الصرف الصحى الذى تصرف إليه مخلفات الصرف الصناعى. الكائنات البكتيرية (Biomass) لأى نظام معالجة بيولوجية يمكن أن يتوافق مع مواد عضوية معينة والتى من المقرر طبقاً للمعايير الحد منها، حيث التخلص من مثل هذه المواد قد يسبب إعاقة كفاءة نظام المعالجة.

نظم المعالجة المتقدمة للمخلفات أو النظم الطبيعية والكيماوية فى محطة معالجة مياه الصرف الصحى التى تشمل ضبط الرقم الهيدروجينى والإضافات الكيماوية لمعالجة مياه الصرف الصحى، يمكنها كذلك إزالة ملوثات غير عضوية معينة. طاقة الإزالة هذه يجب أن تؤخذ فى الإعتبار نحو التركيزات المقبولة لهذه المواد الغير عضوية فى مياه الصرف الصناعى التى تدخل محطة معالجة الصرف الصحى.

٣- الأعمال المساحية والقياسات والرصد للمصنع: (Plant Survey)

نظراً لأنه من الصعب تحديد مشاكل مياه الصرف لمصنع معين بدون الدراسة الحقلية المخططة جيداً والتى يتم تنفيذها بدقة لأنها الوسيلة الوحيدة المناسبة، ذلك رغم أن المعلومات المتاحة أو البيانات العامة عن المصانع المماثلة وهى متوفرة فى المراجع العلمية يمكن أن تفيد كثيراً.

ليس الغرض من هذا هو وضع معايير التصميم أو التحسين وعمل التوسعات فى نظام المعالجة ولكن لخدمة أغراض أخرى. فهى تفيد فى تحديد إذا كان صرف المصنع متوافق مع معايير الصرف المقررة طبقاً لقانون البيئة ٤/٩٤ وكذلك الكشف عن المعايير المخالفة ومتى ولأى حد.

المهمة الأولى للدراسة المساحية (الحقلية) لمياه الصرف هى لتوفير البيانات والحقائق الضرورية لعمل برنامج كامل لإدارة المخلفات. برنامج إدارة المخلفات هو إجراءات تزيد عن نظام المعالجة، حيث أنه يبدأ بما يؤدى الى خفض التكاليف، وزيادة الثقة فى المعاونة بالمعالجة فى محطات الصرف وذلك خفض مياه الصرف اللازم معالجتها. بيانات الدراسات الحقلية تبرز طرق ترشيد استخدامات المياه بالتدوير وإعادة الاستخدام أو ببساطة تقليل الاستخدام الحقيقى. تفيد الدراسات المتاحة فى المراجع العلمية حيث تبين مقارنة رقمية للمصانع المشابهة فى الصناعة. فائدة متعلقة بهذا الموضوع وهى الكشف عن الفقد فى المواد بالتركيز الغير عادى للمنتج، المواد الخام، المعايير المتعلقة بهذه المواد فى مياه الصرف.

أ- تخطيط الدراسة الحقلية والرصد:

تصمم الأعمال المساحية والدراسات الحقلية لقياس كمية وأحيانا نوعية المياه الداخلة وكذلك كمية ونوعية تدفقات مياه الصرف الصناعى. التخطيط الجيد المسبق للدراسة الحقلية لمياه الصرف يفيد فى تحقيق أقصى إستفادة.

عند تحضير برنامج الدراسة الحقلية فإنه يجب تعريف الغرض منها وتفهمه. فإذا كان لدراسة مدى التطابق أو الحيود نسبة إلى المعايير المقررة للصرف فإنه يجب الإشارة إلى المعايير المقررة والمنظمة لذلك. نوع وكمية البيانات التى يتوقع أن توفرها الدراسة الحقلية يجب توضيحها تماماً مع التركيز على الحصول على البيانات الهامة.

عادة تجرى الدراسة على كل المصنع، ولكن قد تكون لمساحة معينة فى المصنع مثل قسم إنتاج معين أو مجموعة صغيرة من الأقسام. وقد تكون المساحة المخدومة بمصدر مائى معين. مهما تكن المساحة فإن التخطيط يجب أن يشمل البيانات ودراسة الخرائط لتوضيح الحدود، ومعدات التصنيع، مصادر المياه ومياه

الصرف، وكذلك مخطط وضع شبكة الصرف بالتفصيل. فى المنشآت الصناعية القديمة عادة مسار خطوط مواسير الصرف تكون غير معروفة بما يتطلب معرفتها وتعقبها باختبارات الصبغة أو بأى طريقة مماثلة. المدة الزمنية للدراسة الحقلية يجب تحديدها مسبقاً. أدنى فترة زمنية يمكن أن تكون ٢٤ ساعة أو يوم عمل كامل. الدراسة المتقنة لأغراض التصميم تتطلب من ٥ إلى ١٤ يوم.

يجب مضاهاة المدرسة الحقلية لمياه الصرف مع العمليات الإنتاجية، كما يجب أن تتم أثناء فترة العمل العادية للمصنع إلا إذا كان هناك سبب أخر لعكس ذلك. المخلفات التى تحدث أثناء وردية النظافة تختلف عن مخلفات الإنتاج حيث يجب أن تكون لها دراسة خاصة، أو أن يتم أخذ عيناتها منفصلة وبيانات التحاليل تكون منفصلة.

تشمل الخطة قياس المياه الداخلة إلى مساحة الدراسة أثناء الفترة الزمنية لعمل الدراسة لأغراض المقارنة وكذلك لتسجيل مصدرها لتوضيح بعض البيانات مثل قياس كميات المياه من المدينة، أو المياه من الآبار أو من المجارى المائية أو المياه التى تم تدويرها وكذلك المياه من أى مصدر آخر. قد يكون أحيانا مطلوب التحليل للمياه الداخلة والمستخدمة ولكن ليس بمعدل أخذ عينات مياه الصرف.

كل مجارى مياه الصرف يجب قياسها مع أخذ عينات عند نقطة أو أكثر من نقطة. يجب إختيار هذه النقط لخدمة الغرض المحدد من الدراسة. يمكن أن تكون نقطة صرف واحدة تكفى فى حالة الغرض من تحديد مدى تطابق نوعية الصرف مع القوانين المنظمة للصرف على المسطحات المائية أو فى شبكات الصرف الصحى. فى حالة عمل الدراسة الحقلية بغرض وضع البيانات الخاصة بالتصميم فإنه يتم تقييم عدد من فرعات التدفقات بالإضافة إلى الصرف النهائى. فى جميع

الحالات، فإن أجهزة قياس التدفقات وكذلك أجهزة أخذ العينات يجب وصفها فى التنفيذ قبل بدء الدراسة الحقلية.

يتم مضاهاة بيانات الإنتاج وتسجيلها لفترة زمنية مع بيانات مياه الصرف حيث قد يكون المطلوب هو تقييم التدفق والملوثات بمعدل الرطل أو الكيلو جرام لكل وحدة من الإنتاج، بالإضافة إلى الوحدات التقليدية للتركيز. كذلك فإن مقارنة بيانات الدراسة الحقلية مع بيانات الإنتاج تمكن من تقدير إحتمالات الآثار البيئية مع زيادة الإنتاج.

بالإضافة فإنه يجب جمع البيانات عن تدفقات المجارى المائية المستقبلة أو خطوط الصرف الصحى المستقبلة وذلك بالنسبة لفوق التيار وتحت التيار. فى مساحات معينة متطلبات الصرف للمجارى السطحية يختلف طبقاً لمعدل التخفيف. كذلك فإن قوانين الصرف تنص على نوعية المياه فوق التيار وتحت التيار بما يتطلب أخذ العينات، كما أن تعيين نوعية المياه فوق التيار ضرورى لتعيين تأثيرات ملوثات معينة.

أخيرا فإن مرحلة التخطيط يجب أن تغطى تدريب طاقم الدراسة الحقلية، بما يمكن من معرفة كل فرد بمسئولياته وواجباته واستعداده لتنفيذها.

ب- قياس التدفقات (Flow Measurement)

الجزء الأساسى فى الدراسة الحقلية لمياه الصرف هو قياس التدفق عند كل النقط الاستراتيجية. وهذه تشمل كل تدفقات المياه إلى المصنع أو إلى منطقة الدراسة الحقلية، كذلك كل المياه الخراجة، وكذلك إختيار تدفقات متوسطة مثل التدفقات فى وحده إنتاجيه. التدفقات المتوسطة يمكن تأجيلها إلى دراسة حقلية لاحقة ولكن فى حالة إمكان تنفيذها يزيد من قيمة الدراسة الحقلية. طرق قياس التدفق متعددة، بالإضافة إلى الأنواع التقليدية لأجهزة القياس فإنه يمكن إستخدام بعض

الطرق مثل ملئ وعاء معاير، أو ملاحظة إرتفاع منسوب الميـــاه فـــى بيـــاره، أو باستخدام القياس للفترة الزمنية لطلمبة ذات طاقـــة ضــخ معروفـــة، أو باســـتخدام المخطط الموضع فى الملحق (أ) لتعيين التدفق فى ماسورة ممتلئـــة جزئيـــا وذات مقطع ثابت.

تغير معدل التدفق يتساوى فى الأهمية مثل متوسط التدفق خـــلال ٢٤ ســـاعة ويجب عمل الاستعداد لتسجيله، ويكون هذا ضرورى فى حالـــة تحضـــير عينـــات مركبة نسبياً. أى نوع من أجهزة قياس التدفق تنشأ للآتى:

- توضيح التدفق والذى يتطلب الملاحظة النظرية على فترات مناسبة.
- تسجيل التدفق حيث يمكن أن يتم على رسم بيانى بصفة مستمرة.
- حساب التدفق، حيث تتوفر قيمة إجمالى التدفق خلال فترة الدراسة الحقليـــة أو أى جزء منها.

يمكن كذلك توفير أى جهاز آلى لأخذ العينات بطريقة نســـبية بجـــهاز قيـــاس يصمم لحساب قياسات التدفق.

يمكن تعريف المراقبة بأنها القياس المستمر لمعايير التلوث بواسطة أجهزة آلية للبيان أو للتسجيل. هذه الطريقة أفضل من طريقة أخذ العينات والتحاليل المعمليـــة ولكنها متاحة فقط لعدد محدود من المعايير كما أن تكلفتها مرتفعة نسبياً. ولكن هـــذه التكاليف يمكن أن تكون إقتصادية فى حالة استخدام هذه الأجهزة لمراقبة والرصـــد والتحكم فى نظام المعالجة لمياه الصرف.

ج- معايير التلوث:

معايير التلوث التى يتم مراقبتها عادة هى درجة الحرارة، الرقم الـــهيدروجينى. أجهزة القياس لواحد من هذه البيانات أو لكليهما متاحة على نطاق واســـع لقيـــاس

التدفقات لمياه الصرف إما إلى المسطحات المائية أو إلى شبكة الصرف الصحى. وهى تجهز أحيانا بنظام إنذار أو بتحويل التدفق والذى يعمل طبقا لدرجة الحرارة أو الرقم الهيدروجينى فى حالة تعدى الحدود المسموح بها لقيم هذه المعايير.

نوعية معايير أخرى يمكن قياسها بأجهزة حديثة مثل التوصيل الكهربى لقياس الأملاح الأيونية المذابة، اللون، العكارة، الاكسجين المذاب. وكذلك توجد أجهزة الزيوت والشحوم وأيونات معينة.

بالنسبة لكثير من المعايير الهامة يمكن تقييم نوعية مياه الصرف بأخذ عينات من المجرى الرئيسى لمياه الصرف، هذه العينات يمكن إختيارها فى الموقع بالنسبة للون ودرجة الحرارة والرائحة وبعض الخواص الظاهرية الأخرى - التحاليل المتقدمة تتم فى المعمل.

د- أخذ العينات:

لتحقيق الغرض من الدراسة الحقلية فإن العينات يجب أن تكون مطابقة للواقع، أى أن تكون مكونات العينة مثل مكونات المجرى الذى أخذت منه. أبسط نوع لأخذ العينات هو العينة المخطوفة (Grap Sample) والتى تؤخذ بغمر إناء مناسب فى المجرى. تكون العينة مقبوله عندما تكون ممثله لجزء من المجرى التى أخذت منه عند هذه النقطة، ولكن عيوب ومخاطر قبول عينة مخطوفة واحدة كأن تكون ممثله لتدفق يوم ولكن أحيانا يكون ذلك أفضل ما يمكن.

العينة المركبة (Composite Sample)، تعد بخلط عدة عينات مخطوفة وهى واقعية أكثر من العينة المخطوفة. هذه العينة المركبة يمكن أن تكون من ١٢ عينة مخطوفة مأخوذة بفاصل خمسة دقائق خلال ساعة.

العينة المركبة خلال ٢٤ ساعة يمكن أن تتم خلال ٢٤ عينة بفاصل كل ساعة، أو ٢٨٨ عينة بفاصل ٥ دقائق لكل عينه. تقنية أخرى لتحضير عينة مركبة هى

بسحب مستمر صغير من تدفقات المصدر فى إناء العينة. العينة الوحيدة الممثلة للواقع هى بجمع كل تدفقات المصدر فى إناء واحد ثم الخلط الجيد ثم سحب عينة. هذه التقنية نادرا ما تستخدم، حيث يمكن تطبيقها فقط للتدفقات الصغيرة للمخلفات الثابتة (التى لاتتحلل). ولكن البديل المناسب هو أخذ العينات بطريقة جيدة من آن إلى آخر. عند تغير التدفق مع الوقت خلال الفترة الزمنية لأخذ العينات كما هو الحال غالباً، فإن العينة المركبة لاتكون ممثلة للواقع الحقيقى إلا فى حالة أن يكون المكون للعينة يتناسب مع التدفق فى توقيت أخذ العينة. يمكن عمل ذلك بطرق متعددة. فمثلا فى حالة جمع العينات كل ساعة فإن جزء من كل عينة الذى يتناسب مع التدفق يضاف إلى المحلول. مثال لذلك، التدفق المار خلال نقطة أخذ العينات هو ١٠٠٠٠ جالون لمدة ساعة من الساعة ٧ إلى الساعة ٨ صباحا، يوضع ١٠٠سم^{٣} من العينة المخطوفة عند الساعة ٧،٣٠ فى وعاء العينة المركبة. فى حالة التدفق ١٢٠٠٠ جالون من الساعة ٨ إلى الساعة ٩ صباحا يؤخذ ١٢٠سم^{٣} عند الساعة ٨،٣٠ من العينة المخطوفة ثم توضع فى وعاء العينة المركبة. إذا كان المعدل هو ٢٥٠٠٠ جالون من الساعة ٩ إلى الساعة ١٠ صباحا يؤخذ ٢٥٠سم^{٣} عند الساعة ٩،٣٠ من العينة المخطوفة وتوضع فى وعاء العينة المركبة وهكذا لمدة ٢٤ ساعة فى اليوم. هذه الطريقة توصف عادة بالحجم المتغير والوقت الثابت (Volume Variable, Time Constant). الطريقة الثانية لجمع العينات المركبة طبقاً لمعدل التدفق تكون عكس العلاقة ما بين الحجم – الوقت وذلك بجمع كمية محددة من العينة عند تدفق عدد محدد من الجالونات، هذه الطريقة تسمى الحجم الثابت – الوقت المتغير (Volume Constant Time Variable). إختيار أى طريقة يتوقف على هيدروليكا موقع أخذ العينات، خصائص المخلفات، الأمان، سواء كانت الإنشاءات ثابتة أم مؤقتة.

أخذ العينات يمكن أن يتم يدويا أو آليا. فى حالة الرغبة فى عمل الدراسة الحقلية بعد حوالى ٢٤ ساعة من التكرار أو لعمل دراسات حقلية أخرى لنفس المصنع فإن جهاز أخذ العينات الآلى يمكن استخدامه فى وقت قصير (Automatic Sampler).

جهاز أخذ العينات الآلى متوفر وهو يوفر أخذ عينات مركبة تتناسب مع التدفق (كل منها عبارة عن عينة مركبة صغيرة من عدة عينات تتناسب مع التدفق خلال تلك الساعة) والتى توفر خواص أخرى مثل التبريد عندما يكون ذلك ضروريا. مصنعوا أجهزة أخذ العينات الآلية لمياه الصرف أتموا تطوير متغيرات متعددة لخدمة أى غرض مطلوب فى الدراسة الحقلية.

حفظ العينات حتى الوصول إلى المعمل هام فى كثير من الأحيان، حيث يكون التبريد مناسب كذلك ويوصى به للعينات التى يتم إختبارها بالنسبة للأكسجين الحيوى المطلوب (BOD). بالنسبة لبعض المكونات الصناعية المعنية توضع مواد حفظ كيماوية فى وعاء العينة قبل بدء الدراسة الحقلية. نظرا لأن بعض مواد الحفظ هذه تتداخل مع تحاليل أخرى مطلوبة فإنه يجب التخطيط المسبق للبرنامج لتوفير كل ما هو ضرورى. جدول حفظ وتداول العينات موضح فى الملحق (أ).

هـ- التحاليل المعملية:

خطط التحاليل المعملية المطلوبة لمياه الصرف متوفرة فى مرجع الطرق القياسية لتحليل المياه ومياه الصرف (Methods for Standard Examination of Water and Waster Water).

بعض الطرق تكون تقليدية وخاصة بالنسبة للتركيزات المنخفضة جدا. كما أن بعض التحاليل يكون إختيارى مثل الزيوت والشحوم. تفيد التحاليل فى توفير البيانات اللازمة لتصميم المعالجة أو لنظام الاستعادة.

عادة يتم أحيانا كتابة معايير الصرف لبعض المواد مثل تلك للزيوت والشحوم والسيانيد، حيث لايتم ذكرها فى طرق التحاليل القياسية. تحديداً نرى أن معايير صرف السيانيد تشمل كل السيانيد بما فيه البسيط والمعقد فى مياه الصرف، ولكن المعالجة المقبولة لتدمير السيانيد فى مياه الصرف مثل الكلورة يكون تأثيرها قليل أو معدوم على السيانيد المعقد بما يتطلب تحاليل إضافية. بعض الاختبارات المعملية ذات الطبيعة الخاصة قد تكون مطلوبة لأغراض التصميم مثال لذلك إختبارات الترسيب لإزالة المواد الصلبة العالقة، تعيين منحنى المعايرة للرقم الهيدروجينى لتقييم تعادل مياه الصرف، والاختبارات البيولوجية لمعرفة جدوى المعالجة البيولوجية - بعض الاختبارات الأخرى التى تتم أحيانا وهى تعيين السمية باستخدام كائنات التجارب من أسماك ونباتات من أجناس خاصة (مقدمة الفصل السابع).

٤- *تقييم الدراسة الحقلية*: (Evaluation of the Survey)

يلزم المراجعة والتقييم لبيانات الدراسة الحقلية ومدى تحقيقها للهدف. وعادة فإن الميزان المادى الناتج من الدراسة مفيد دائما، ولكن كفاءة الميزان المادى ليست متوقعة، حيث أن الأخطاء بنسبة ١٠% تعتبر الحد الأدنى أما نسبة الأخطاء ٢٠% فهى عادية. الزيادة فى التجاوزات لاتضعف الدراسة إلا أنه يلزم العناية فى تفسير وتقييم البيانات. يبنى الميزان المادى على كل حجم التدفق أو على ملوث واحد أو على مجموعة من الملوثات. الدراسة الحقلية التفصيلية للمصنع تعاون فى تحديد المصادر الرئيسية للتلوث أو الفقد فى المادة. وهى توفر البيانات عن الأحمال من الملوثات لعملية أو لعدة عمليات صناعية ويمكن تقييمها بمعدل ملجرام لكل لتر من المياه أو كيلو جرام لكل متر مكعب. يمكن تقييم التغير فى الحمل من الملوثات كتوسط يومى. بمقارنة نتيجة الأحمال من الملوثات بالصناعات المثيلة حسب ما هو منشور فى الدراسات البحثية أو من الدراسات الميدانية فإن ذلك مفيد.

إكمال الدراسة وتقييمها يؤدى إلى توصيات محددة. التوصية الأولى قد تكون ببساطة إعتبار الدراسة كمحاولة مع إعادة تخطيط الدراسة لتصحيح الأخطاء في المجالات المعملية وغير ذلك. الدراسة الحقلية الناجحة قد تكون تلك الخاصة في حالة نجاح الدراسة الأولية فى تحديد المصادر الرئيسية للتلوث. عادة الدراسة الأولية تشمل بعض البيانات الغير ضرورية، مثل إختبار الملوثات ذات الكميات القليلة جداً، وإلغاء هذه الاختبارات سوف يعطى الدراسة الحقلية التالية فرص أكبر للنجاح. الدراسة الناتجة من الطبيعى أن تكون محققة للغرض منها.

أ- التحكم فى الملوثات داخل المصنع (In Plant Waste Control)

الخطوة الأولى المنطقية لحل مشكلة الملوثات هى التعامل معها فى مصدرها وبمعنى آخر منع تكون الملوثات أو تقليلها ما أمكن بديلا عن الاعتماد على المعالجة التى تتم للإزالة أو التحلل (Decomposition). وحتى وإن كان التخلص الكلى غير ممكن فإن أى تقليل فى الحجم أو التركيز يحقق فائدة إقتصادية – ولذلك فإن المهمة الأولى للدراسة الحقلية هى البحث عن مواقع الحد من الملوثات ليصل أقل حمل من الملوثات إلى وحدة المعالجة أو الصرف.

البرنامج المؤثر لخفض الملوثات يبنى على نتائج المباحث الحقلية. لتحقيق الفائدة من المباحث الحقلية للمصنع، يتم الحصول على بيانات كاملة بالنسبة لجميع المواد الخام الرئيسية، الكيماويات المستخدمة، والمواد الأخرى مثل الوقود ومواد التشحيم والتزييت. يتم إعداد الميزان المادى الذى يعد لكل المواد التى تدخل أو تخرج من قسم إنتاج معين أو موقع إنتاجى. مثال للميزان المادى فى الملحق (ج).

يمكن تحقيق الحد من الملوثات أو أبعادها تماماً بأحد الطرق الآتية:

- تحديث العملية الإنتاجية.

- باستخدام خامات بديلة.
- إستعادة المواد.
- تطوير العملية الإنتاجية.
- فصل الملوثات (Segregation of the Wastes).

استخدام أى من هذه الطرق أو كلها للتحكم فى تقنيات الإنتاج يتعلق بمعرفة أن الماء هو المادة الخام وناتج الصرف هو المنتج الثانوى للعملية الإنتاجية. فى حالـــة قبول هذه الحقائق يكون من المنطق استخدام مبادئ مراقبة الجودة فى إنتـــاج ميـــاه الصرف الصناعى.

(١) تحديث العملية الإنتاجية واستخدام خامات بديلة:

تلك طريقتين متداخلتين وسيتم مناقشتهما كطريقة واحدة. فقد ثبت أن فـــــرص الحد من الملوثات بتحديث العملية الإنتاجية لا نهائية، وإن كـــان تطبيـــق اى مـــن التقنيات يلزم تقييمه فنيا وإقتصاديا وذلك لكل قسم من اقسام الإنتاج على حده. أحـــد الأمثلة التى تشمل تحديث العملية الإنتاجية واستخدام خامات بديلة والتى اســـتخدمت على نطاق واسع للحد من التلوث هى صناعة الورق. فقد تم التغيير لعمليـــــة لـــب الورق (Pulping Process) من الكالسيوم القاعدى إلى المغنسيوم أو أحـــد الأمـــلاح القاعدية القابلة للذوبان فى الماء، وبهذا التغيير أمكن إستعادة المواد التى كانت قبـــل ذلك تصل إلى مجارى الصرف وتتطلب تكاليف عالية للمعالجة. مثال آخر حيـــــث كثيرا من مصانع الصلب غير من اســـتخدام حـــامض الكـــبريتيك إلـــى حـــامض الهيدروكلوريك عند إعداد سطح المعدن (Pickling) للتشطيب، وبذلك أمكن إســـتعادة وإعادة استخدام حامض الهيدروكلوريك بدلا من عمليات التعـــادل (Neutralization) والترسيب ونقل الروبة من الكبريتات والتخلص منها. وفى نفس الصناعة تم خفض المياه المستخدمة فى عملية إعداد ســـــطح المعـــدن بالحـــامض (Pickling) وذلـــك

باستخدام عملية بسيطة جافة مثل الترميل (Sand Blasting - Grit Blasting). فى أى صناعة عند التحول من العمليات الرطبة إلى العمليات الجافة يقلـــل مـــن أحمـــال الملوثات فى المياه، وإن كان تلوث الهواء بالعمليات الجافة يتطلب الغسيل الرطـــب (Wet Scrubbing) والذى بالتالى ينتج صرف سائل.

(٢) إستعادة المادة: (Material Recovery)

من بين عمليات الحد من التلوث هو إستعادة المواد من مياه الصرف وإعـــادة إستخدامها – يتم ذلك فورا بعد حدوث التلوث وقبل الخلط مع ملوثات أخـــرى فـــى مجرى الصرف، حيث تكون الملوثات أكثر تركيزا وذلك قبل التخفيف والخلط مـــع ملوثات أخرى. ففى صناعة الصلب يمكن فصل الأتربة الحاملة للحديد (مثل حالـــة إزالة الصدأ) وعودتها إلى فرن الصهر (Blast - Furnance). وفى صناعـــة لـــب الورق يمكن تخليص الكيّماويات بفصلها عن لب الورق وتركيزها وحرقها وتقويـــة الفضلات بكيماويات جديدة لإعادة الاستخدام.

وفى حالة عدم ملاءمة إعادة الاستخدام المباشر عمليا فإنه يمكـــن اســـتخلاص المادة فى عمليات خاصة. ومن العمليات الشائعة فى مثل هذه الحالات هـــو عنـــد إستخدام الكربون المنشط لتكرير السكر أو الكيماويات حيث يمكن تنشـــيط وإعـــادة استخدام هذا الكربون من خلال عملية التسخين والأكســـدة المحكمـــة (Controlled Heating and Oxidizing). مثال آخر أكثر تعقيداً حيث يمكن إستخلاص النيكـــل مـــن عملية الطلاء المعدنى (Electroplating) بواسطة التبادل الأيونـــى، وملـــح النيكـــل المركز المصفى يمكن إعادة إستخدامه فى حـــوض الصباغـــة بـــالنيكل. والأكـــثر إستخداما وأقل تكلفة هو استخلاص الفضة من مياه التحميض للصور الفوتوغرافية؛ حيث يتم ذلك بالإذاحة المباشرة فى خرطوشـــة مـــن صـــوف الصلـــب (Direct Displacement In a Steel Wool Cartidge)، أو بالترسيب الكـــهربى فـــى مســـار

التدفق لمجرى الصرف. وفى أى من الحالتين فإن الفضة التى تم إستخلاصها لايعاد استخدامها مباشرة حيث يتم تصنيعها لإعادة الاستخدام فى مواد التصوير.

وأهم المواد التى يمكن تخليصها من مياه الصرف هى المياه نفسها. فالمياه مادة خام مفيدة جداً، ومياه الصرف قد تكون أكثر تكلفة عند التخلص الآمن منها. ولذلك فإنه من المنطق إعادة استخدام المياه فى المصنع عدة مرات ما أمكن. إعادة الاستخدام فى شكل دورة كاملة يتطلب معالجة جزئية (Partial Purification) كجزء من هذه الدورة، ولكن التكاليف قد تكون تصاعدية إذا كانت المياه المستخدمة تزداد فى رداءتها قبل المعالجة النهائية أو الصرف. غسيل الأجزاء المعدنية المصبوغة يتم من خلال التدفق بالجاذبية من حوض إلى آخر حيث يمكن استخدام كل نقطة مياه مرتين أو ثلاث مرات بدون أى آثار ضارة على نوعية المنتج.

مياه الصرف التى تكون ملوثة فقط بالحرارة كما فى حالة استخدامها فى التبريد فإنها تحتاج فقط للتبريد لإعادة إستخدامها، إلا أن هذا يؤدى إلى الزيادة المتدرجة فى الأملاح أو مواد صلبة أخرى فى هذه المياه بما يتطلب التعويض بصرف جزء من هذه المياه أو معالجتها. ورغم ذلك فإن تدوير مياه التبريد بعد تبريدها فى أبراج التبريد أو أحواض التبريد (Spray Ponds) واسع الإنتشار فى المنشآت الصناعية. عند وجود ملوثات غير الحرارة فى مياه التبريد فإنه يلزم إجراء معالجة جزئية خلال دورة التدوير مثل حوض الترسيب كما فى حالة صناعة الصلب حيث يستخدم الترسيب لإزالة (واستعادة) خردة الحديد (Millscale) جنبا إلى جنب مع كشط واستعادة الزيوت الطافية. المياه بعد هذه المعالجة تكون من نوعية مناسبة لاعادة الاستخدام فى الصناعة. تبخير المياه فى عملية الطلاء بالكروم (Chromuim Plating) يكون محلول مركز يمكن إعادة استخدامه فى حوض الطلاء.

وقد تجرى أحيانا المعالجة البيولوجية أو الكيماوية لإعداد الميـــاه المســتخدمة (Spent Water) لإعادة الاستخدام ولكن هذه الطريقة غير شـــائعة عمومـــا حيـــث تستخدم فقط لصرف هذه المياه والتخلص منها. بعض الملوثات فى مياه الصـــرف الصناعى لايمكن الاستفادة منها فى إعادة الاستخدام، والمثال الواضـــح فـــى هـــذه الحالة هو الصناعات الغذائية حيث الملوثات من فضلات المواد الغذائيـــة العالقـــة بالمياه والتى لايجوز صرفها على مجارى الصرف حيث يمكن استعادتها للاستخدام فى غذاء الحيوان. أما الفضلات الغذائية التى لا تناسب غذاء الحيوان فيتم استعادتها للاستخدام كمواد كيماوية وسيطة أو كسماد عضوى.

فى الصناعات الغير غذائية فإن إستعادة المواد الثانوية (By-Products) ممكـــن فى بعض الصناعات. فمثلا نجد فى مجمعات صناعة الصلب حيث تنتج كيماويـــات من الكولتار فى بطاريات الكوك، وفى حالة نقص الوقود يمكن حرق هذه المخلفـات كوقود ثانوى. فى صناعة لب الورق حيث بالاضافـــة إلـــى إســتعادة واســتخدام الكيماويات المستخدمة فى عملية إنتاج لب الـــورق، فإنه يمكن إستعادة كيماويـــات من سائل الصرف للب الورق. مثال لـــهذه الكيماويـــات الـــتربنتين والفـــيرفورال (Turbentine and Furfural). وفى حالات غير عادية وناجحة أمكـــن اســتخلاص بعض مواد مكسبات الطعم (Flavourina Material) مثل الفانيلين (Vaniline) مـــن سائل صرف الكبريتيد (Sulphide - Liquor). فى كثير من الحالات فـــإن إســتعادة بعض المواد قد يكون أكثر تكلفة من قيمتها السوقية، ولكن تتمثل إقتصادياتها فـــى الحد من التكلفة اللازمة لمعالجة مياه الصرف.

ب- تطوير العملية الإنتاجية: (Operational Changes)

فى كثير من الصناعات يمكن خفض المخلفات بتطوير تقنيات النظافة. نظافـــة المنتجات وأماكن العمل يمكن أن تكون عملية مستمرة أو منقطعة فى غـــير ورديـــات

الانتاج، وهذا يحتاج إلى اجراءات للحد من التدفق لمياه النظافة. يمكن تنفيذ ذلك باستخدام مياه النظافة تحت ضغط عالى ومعدل تدفقات منخفض وذلك بتدفقات من فتحات ضيقة (نافورة – Jet Stream) أو من رشاش. كما يمكن التقليل من الملوثات باستخدام التنظيف الجاف. كذلك يمكن خفض الملوثات فى مياه الصرف بتغيير مواد التنظيف المستخدمة. عملية النظافة والغسيل للقطع التى تم طلاءها بالمعادن بدلا من غسيلها ونظافتها بالنظام المستمر فى خط الإنتاج، يمكن أن يتم ذلك فى حوض لغمر القطعة حيث الاستهلاك الأقل للمياه، أو باستخدام الصرف الآلى لرشاشات المياه بضع ثوانى لكل قطعة بدلا من الرش المستمر. ونفس المبدأ يمكن تطبيقه فى عمليات صناعية أخرى كثيرة. النظافة الجافة مفيدة فى عملية إنتاج العجائن للمخبوزات، وكذلك نظافة المعادن بالترميل قبل استخدام الأحماض (Sand Plasting Ahead of Pickling)، وفى نظافة الأرضيات فى مصانع تصنيع اللحوم. كلما زادت إمكانية إزالة الملوثات فى الشكل الصلب كلما أصبح التخلص من مياه الصرف أبسط وأقل فى التكلفة. ولايعتبر استبدال أنواع المنظفات المختلفة مفيد واقتصادى، فإذا كان مصدر التلوث بالمنظفات هو الفوسفور والفينول فإن استخدام منظف بديل يجب ألا يسبب ملوثات أخرى، وذلك مع عدم الاسراف فى استخدام المنظفات.

توجد دائما إجراءات بسيطة يمكن تنفيذها فى جميع المنشآت الصناعية للحد من التلوث. وكل هذه الإجراءات تعتمد على الحس العام والسلوك البيئى وتسمى هذه الاجراءات حسن الآداء داخل المنشآة (Good House - Keeping). كثير من هذه الإجراءات يتطلب الحد من البعثرة للمياه والمواد ذلك لخفض الأحمال من الملوثات وكذلك عبئ المعالجة بالإضافة إلى الفقد فى المواد. بعض الاجراءات البسيطة التى يمكن أن يعيها العامل مثل زيادة زمن تصريف المياه من المنتجات أو المواد المبللة ما فى حالة تفريغ أوعية الألبان، والقطع التى تم طلاءها بالمعادن

والمنسوجات التى تم معالجتها فى المجال المائى (Wet Processed Textile) وذلك قبل نقلها إلى المرحلة التالية، وهذا سوف يقلل من إنتقال السوائل وانتشار الملوثات، ذلك مع إعادة السائل للعملية الإنتاجية لإعادة الاستخدام وعدم صرفه.

فى حالة عدم إمكان تفادى التهديد فى المواد أو السوائل فإن المساحات الملوثة قد تكون صغيرة لجمع الملوثات من مصدر واحد أو تخصيص مناطق لجمع المخلفات من قسم واحد مع عمل التسهيلات للوصول إلى مناطق الجمع سواء ميكانيكيا أو يدوياً بعد كل وردية.

ج- فصل المخلفات: (Segregation of the Wastes)

الإعتبار الأخير فى التحكم فى المخلفات هو جمع المخلفات، وبالتحديد القرار سواء بالفصل للمخلفات أو خلطها، حيث لكل حالة فوائدها. من الواضح أن المخلفات التى من المخطط إستخلاصها واستعادتها أو إعادة إستخدامها يجب فصلها عن باقى المخلفات التى يمكن أن تتداخل معها. حتى أن التخفيف البسيط غير مفضل نظراً لأن ذلك يجعل عملية الاسترجاع أكثر تعقيداً وأكثر تكلفة، كما أن الخلط مع مخلفات أخرى يجعل من الصعب الإستعادة لهذه المخلفات.

وبالمثل فالمخلفات التى تتطلب معالجات خاصة لاتخلط بملوثات أخرى إلا لأسباب مناسبة. فمثلاً مخلفات الكروميت (Chromite Wastes) التى تعالج بالإختزال الكيماوى لايجب تخفيفها نظراً لأن ذلك يتطلب زيادة الجرعة الكيماوية المطلوبة وإن كان يمكن خلطها بالمخلفات الحامضية البسيطة والتى تفيد فى التفاعل. ومخلفات السيانيد التى تعالج بتدميرها بالكلورة يجب عدم خلطها بالمخلفات الأخرى من المعادن الثقيلة نظراً لتكون مركبات معقدة (Complexes) والتى تؤخر أو توقف عملية الكلورة.

وعلى الجانب الآخر فإن خلط ملوثات معينة لايوجد مشاكل بل يكون مفيـدا – فمثلا يمكن خلط مخلفات الكروم بعد الاختزال والمخلفات من المعادن الثقيلة غـير المحتوية على كروم أو سيانيد ومخلفات السيانيد بعد الكلوره وكذلك سوائل التخليـل (Pickling) والمخلفات الحامضية الأخرى والمنظفات القلوية والقلويات الأخـرى. حيث المواد الحامضية والقلوية تتفاعل وعلى الأقل جزئياً. والخطوة التاليـة هـى إضافة القلوى لترسيب المعادن الثقيلة. ولكن الخلط غير الكـافى يمكـن أن يتلـف عمليات المعالجة. نوع آخر من الخلط له أهمية بالغة عند تنفيذه جداً وهـو تسـوية المخلفات (Equalization of the Wastes). مياه الصرف الصناعى عـادةً متغـيرة بشكل كبير فى تكوينها وفى معدل تدفقها، وهذه الخاصيـة تجعـل مـن الصعـب المعالجة بنظام مستمر وبالتالى أقل قابلية للصرف على المجارى المائية. يمكن الحد إلى درجة كبيرة من التدفقات العالية وكذلك من التركيزات العالية وذلـك بتوفـير وحدة تسوية (Equalization Unit) على خط التدفق قبـل المعالجـة أو الصـرف. بالنسبة للتدفقات الصغيرة وخاصة التى تكون سرعة تدفقاتها عالية فإنه عادة يمكـن إحتواء كل التدفق فى يوم العمل (أو فترة زمنية مناسبة) فى حوض أو خزان بحجم مناسب. وتحدث التسوية أثناء الملئ. ويتم معالجة محتوى الحوض أو الخزان كـل مرة قبل الصرف على شبكات الصرف أو المجرى المائى. كما يمكـن إسـتخدام حوضين متعاقبين بما يسمح بمعدل صرف ممتد، ولكن ليـس دائمـا ضروريـاً. وكمثال عام، فإن مياه التهدير والإنسكاب والغسيل وكذلك صرف أحواض الطـلاء الكهربى الصغيرة يتم تجميعها فى حوض تجميع ذو سعة حوالى ٥ متر مكعب مـع الخلط وتتم المعالجة فى مساء اليوم، مع السماح بالترسيب فى فترة الليل ثـم يتـم سحب المياه الرائقة وصرفها على شبكة الصرف الصحى قبل بدء العمل فى اليـوم التالى. أما الحجم الصغير من الرواسب فيتم تركه فى حوض التجميع حتى نهايـة الأسبوع حيث يتم التخلص منه.

ويمكن كذلك تحقيق التسوية (Equalization) مع إستمرار التدفق فى حوض مجهز بتجهيزات للخلط أو بحوائط خلط (Mixing Baffles). وبهذه الطريقة يمكن توفير تقليل إلى حد ما للتغيرات فى التدفق إلا إذا كان مسطح الحوض كبير (كما فى حالة الأحواض والبرك). ولكن التركيزات العالية والتغير الكثير فى الرقم الهيدروجينى يمكن خفضهما بدرجة كافية فى نظام التدفق المستمر حيث يستخدم حوض ذو حجم كبير والذى يستوعب مياه الصرف عند أى معدل صرف متوقع. يتم الضخ من الحوض إلى وحدة المعالجة أو الصرف بمعدل ثابت أو بالتحكم فى معدل التدفق بما يقترب من متوسط معدل تدفق المياه الداخلة إلى الحوض. المنسوب يتغير ومعدل الضخ الثابت يمكن التحكم فيه لمنع التفريغ الكامل للحوض وكذلك لمنع فيض المياه الزائدة عن سعة الحوض (Over Flow).

٥- التصرف فى مياه الصرف الصناعى: (Ultimate Disposal)

إنه من غير الممكن إخفاء المادة ولكن يمكن فقط تحويلها من شكل إلى آخر. وينطبق ذلك على الماء والذى يمكن أن يتغير من الحالة السائلة إلى البخار أو أن يتحلل إلى عناصره الكيماوية ولكن لايمكن فقده كلية. المياه التى تستغل فى منشأة صناعية يمكن أن تنتهى إما إلى جزء من مكونات المنتج النهائى أو كبخار ماء أو كمياه صرف صناعى. التدوير الكامل لكل مياه الصرف ليس ذو جدوى إقتصادية أو فنية لكل الصناعات أو كل أقسام الإنتاج فى المنشأة الصناعية. وطبقا لنتائج المباحث الأولية وبالتحديد الدراسة الحقلية للمصنع يمكن تقييم البدائل لتوفير التخلص المناسب لمياه الصرف الصناعى. وهذه تشمل الصرف على المسطحات المائية أو بالصرف فى آبار الحقن الجوفى فى المياه الجوفية أو باستخدامها فى الأراضى أو بالصرف فى شبكة الصرف الصحى. وسواء عولجت أم لم تعالج فإن مياه الصرف الصناعى تعود إلى الطبيعة أساسا بالصرف على المياه الطبيعية

– مثل المجارى المائية، البحيرات، البحار، أو إلى حفر تؤدى إلى أى منها. وقد نص قانون البيئة ٤/٩٤ على الإشتراطات والمعايير المنظمة لصرف مياه الصرف الصناعى والتخلص منها.

٦- *التخلص من الحمأة*: Sludge Disposal

أثناء معالجات مياه الصرف الصحى للصرف فى البيئة الطبيعية أو فى شبكة الصرف الصحى تزال ملوثات كثيرة من الروبة أو الحمأة (Sludge). الروبة تحتوى على الكيماويات التى إستخدمت فى إزالة الملوثات، الحمأة تنتج فى صور المعالجات ومراحلها المختلفة كأحواض الترسيب والمروقات ومصافى القضبان والمصافى والمرشحات وباقى وحدات الفصل. وقد تكون الحمأة (الروبة) فى شكل سائل غير نظيف محتويا على مواد صلبة قليلة. (حوالى ٠,٥%) أو قد تكون مواد صلبة مشبعة بالماء (Soggy) أو فى شكل قوالب رطبة (Wet Press Cake) ومهما كان الشكل فإن التخلص الآمن ليس بالأمر السهل.

كثيرا من المنشآت الصناعية تتخلص من مخلفاتها من الحمأة (أو الروبة) وأحيانا كل المخلفات التى يصعب معالجتها مثل مياه الطلاء الكهربى للمعادن (Electroplating) ومياه التحميض للصور الفوتوغرافية بواسطة جامعى مثل هذه المخلفات (Scavenger). والتخلص من المواد الصلبة تنقل بمقابل إلى متخصص أقدر على التعامل معها. ونظرا لأن جامعى مثل هذه المخلفات تحكمهم كذلك معايير التخلص ذلك لأنهم يتعاملون مع كميات كبيرة، فإن العائد من إستعادة المواد مثل الزيوت والمذيبات وكذلك إستعادة المعادن مثل الفضة والذهب والكروم... الخ يكون كبيرا.

يعتبر التخلص من المواد الصلبة من خلال جامعى المخلفات هو أسهل وسيلة وأقلها تكلفة وقد ينطبق ذلك على المنشأة الصناعية الكبيرة كذلك. وقبل التخلص من

الحمأة (الروبة) سواء بواسطة جامعى المخلفات أو بطرق محلية فى المصنع فإنــــه عادة يتم التعامل معها لتقليل الحجم. ولا ينطبق ذلك على حالات نشر الحمــأة فــى الأراضى أو صرفها فى شبكة الصرف الصحى وإن كان هذا غير متبع عـــادة إلا أنه يمكن أن يكون مقبول فى بعض الحالات. وفى جميع الحالات يكون من المفضل خفض حجم الروبة (أو الحمأة). المياه الناتجة عن عملية تركيز الروبة عادة تكــون من نوعية رديئة جدا حيث يعاد تدويرها إلى مجرى مياه الصرف الخــام أو إلــى وحدة المعالجة لمياه الصرف. إعداد الروبة (الحمأة) وتركيزها يشمل طرق مختلفــة منها التحلل أو الهضم (Digestion)، الترشيح، الطرد المركزى، التجفيف.

إستعادة المواد الثمينة من الروبة عملية ذات تخصــص عــالى جــدا وعــادة لاتمارس بواسطة المنشأة الصناعية منفردة. وقد جرت العادة أن تقوم المنشأة بفصل مثل هذه المخلفات وجمعها وبيعها إلى المتخصص فــى جمعــها والتعــامل معــها واستعادة ما بها من مواد. التخلص النهائى من المخلفات الصلبــة يتــم بطريقتيــن أساسيتين وهما الحرق أو الردم. يعتبر حرق الحمأة مناسب فــى حالــة المحتــوى العالى من المواد العضوية وإن كانت المواد غير العضوية تجف وتثبت فى شــكل أقل إذابة. وعند التخلص من المخلفات الصلبة فى إســتعمالات الأراضــى ســواء مخلفات الحــريق أو بدون حريق فإنه يلزم التأكيد على خلو هذه المخلفـــات مــن المواد السامة. المخلفات العضوية لها قيمة سمادية للتربة كما أنها تعمل على تحسن خواص التربة. أما المخلفات غير ذات القيمة والتى بها مواد سامة فيتم دفنها فـــى الأراضى غير المستخدمة كما فى حالات الردم للمناطق المنخفضة من التربة مـــع الأخذ فى الاعتبار عدم تسرب هذه المواد السامة مستقبلا إلى الخزانات الجوفيــة أو إلى أى أنشطة تنموية أخرى.

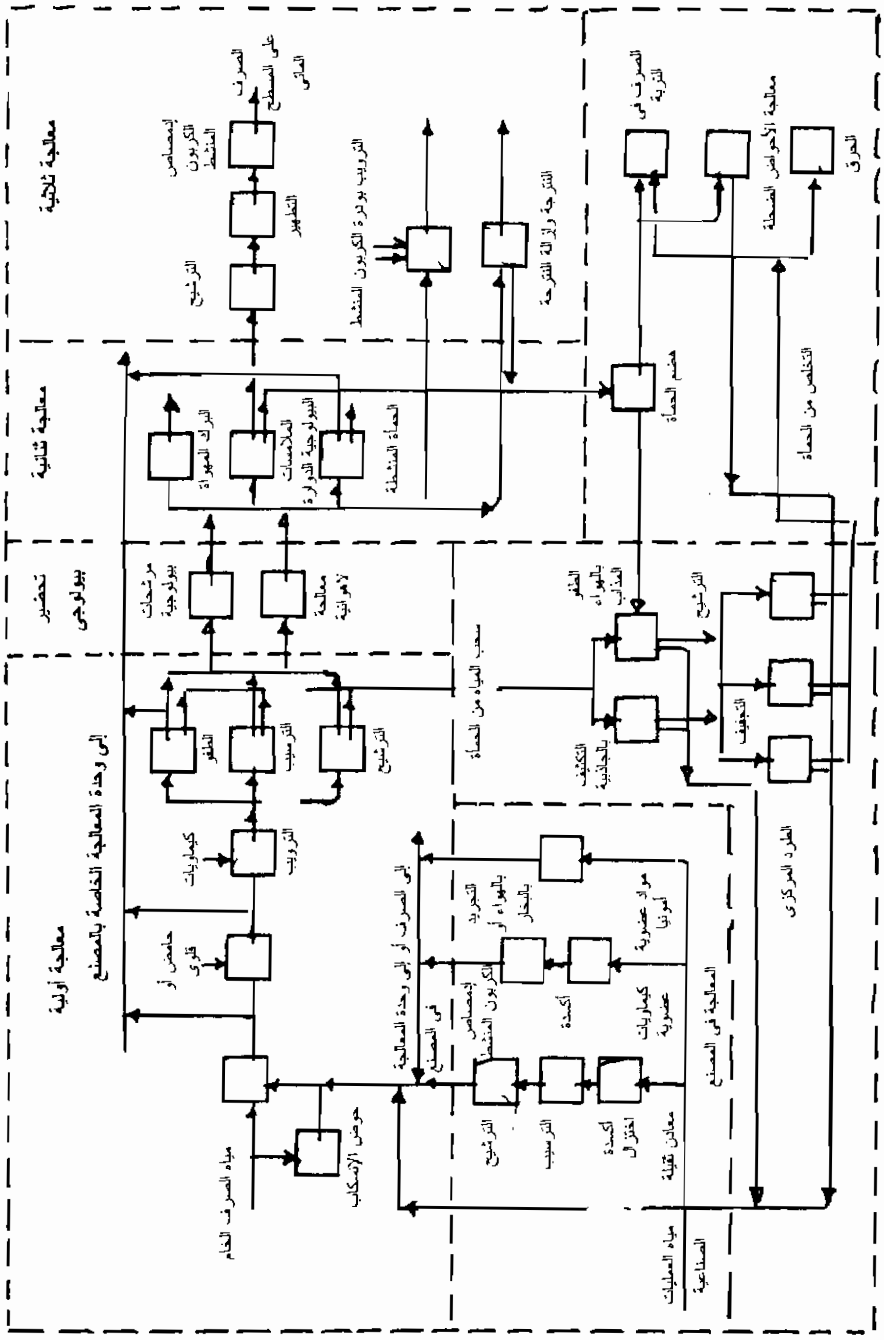
الفصل الثانى

الإطار العام لنظم معالجة مياه الصرف الصناعى

١- مقدمة:

بعد عمل كل الإجراءات المناسبة داخل المصنع لتقليل أو لمنع الملوثات عند مصدرها. حيث تستخدم تقنيات التدوير وإعادة الاستخدام، واستعادة المواد ذات الفائدة من مياه الصرف مع حسن الأداء داخل المصنع. تقوم المنشأة بعد ذلك بدراسة البدائل لصرف المخلفات. وهذه البدائل تشمل الصرف على المسطحات المائية أو على مجارى الصرف الصحى، أو بالصرف فى خزانات المياه الجوفية... الخ. وكل من هذه الطرق له مزاياه ومشاكله وفى كل الحالات فإن مياه الصرف الصناعى يلزم لها بعض المجالات قبل تركها للمنشأة الصناعية.

لاتوجد طريقة واحدة لمعالجة كل أنواع مياه الصرف الصناعى، حيث تشمل تقنيات المعالجة كل عمليات المعالجة لمياه الصرف الصحى بالإضافة إلى تقنيات أخرى لكل نوع من أنواع الصرف الصناعى. يتوقف تحديد نوع المعالجة أو تسلسل عمليات المعالجة لمصنع معين أولا على معايير الملوثات المطلوب إزالتها ودرجة الإزالة. هذا بالإضافة إلى إعتبارات أخرى مثل حجم مياه الصرف المطلوب معالجتها، وتركيز الملوثات فى مياه الصرف الصناعى الخام، التغير فى تدفقات مياه الصرف والتغير فى تركيزات الملوثات، والمناخ الذى يؤثر فى بعض أنواع المعالجة وطبيعى الاقتصاديات الكلية لهذا الاختيار. الشكل (٢/١) يوضح الإطار العام لمعالجة مياه الصرف الصناعى.



شكل (٢/١) الخطوط العامة لمعالجة مياه الصرف الصناعى

المعالجات الخاصة بمياه الصرف الصناعى تشمل أربع أنواع عموما وهى:

١- الفصل للمجالات المختلفة (Phase Seperation) كـــالمواد الصلبـــة عـــن السائلة.

٢- المعالجة البيولوجية.

٣- المعالجة الكيماوية.

٤- تقنيات أخرى.

ويصمم كل نوع من عمليات المعالجة لإزالة الملوثات فى شكل محدد. ولذلـــك فإن الاختيار لايبنى فقط على كمية المواد المطلوب إزالتها ولكـــن علـــى الشـــكل الموجودة به. وأبسط مثال هو الصلب مقابل السائل. ولذا فإنــــه يجـــب الاســـتفادة بالتقنيات الحديثة المناسبة لضمان أقصى كفاءة للعملية.

٢- فصل المجالات:

من أكثر التقنيات فائدة فى معالجات الصرف الصناعى ومياه الصرف الأخرى وأكثرها بساطة هو الفصل الطبيعى للمجالات. فمن المهم فصل المجال الصلب عن المجال السائل. وكذلك فصل المجال السائل اللامائى مثل الزيـــوت عـــن المجـــال المائى. والمجال الغازى - السائل له تطبيقات محددة للفصل وأحيانا يكون له قيمـــة لمخلفات معينة. تعتبر إزالة المواد الصلبة الخطوة الأولـــى فـــى جميـــع عمليـــات المعالجة للصرف الصناعى، حيث يستخدم الترسيب أو فصـــل المجـــالات بفعـــل الجاذبية فى أحواض الترسيب. ويمكن أن تتم على مرحلتين المرحلة الأولى حيـــث زمن المكث قليل (Detention Time) لإزالة الرمـــال والمـــواد الصلبـــة ســـريعة الترسيب، ثم الثانية الرئيسية لإزالة المواد الصلبة بطيئة الترســـيب، حيـــث زمـــن المكث فى الأولى حوالى دقيقة وفى الثانية حوالى ١٢٠ دقيقة. أما الزيوت والتـــى هى أخف من الماء فإنها تطفو على السطح فى نفس الوقت ترسب المواد الأثقل من

الماء إلى القاع. وكلا من الحمأة فى القاع والخبث أو المواد الطافية علـــى الســطح (Scum) يزال بالإزالة الميكانيكية المناسبة والتى تعمل إمــــا باســتمرار أو علـــى مراحل متقطعة طبقا لما تمليه طبيعة وكمية المواد المرسبة والطافية. وتختلف كفاءة الإزالة للمواد الصلبة من صناعة لأخرى حيث يتوقف ذلك أساسا على الفرق فـــى الكثافة ما بين المادة الصلبة من صناعة لأخرى حيث يتوقف ذلك أساسا على الفرق فى الكثافة ما بين المادة الصلبة والسائل وحجم الجسيمات الصلبة والزمــن الــلازم للترسيب. تتعثر عملية الترسيب إلى درجة كبيرة بالتيارات المضطربة والدوامـــات المائية (Eddy Currents) والتى تكون نتيجة عدم كفاءة التصميم أو التحميل الزائـــد أو الإختلافات فى درجـــات الحرارة وتأثيرات أخرى بالنسبة للســـرعة والكثافـــة. يمكن زيادة كفاءة الترسيب بعملية التجميع للجسيمات الصغـــيرة (Agglomeration) إلى أجسام كبيرة وذلك إما بالترويب بالكيماويات أو بزيادة زمن المكث (Holding - Time). والبديل الآخر يتطلب أن يكون حوض الترسيب ذو سعة كبيرة وهذا يسبب مشكلة (فى كثير من الصناعات) وهى أن الحمأة فى حوض الترســـيب يمكــن أن تصبح لاهوائية (Anaerobic). نفس التقنيات لفصل المواد الصلبة يمكن تطبيقها فـى عملية التلميع الأخيرة بعد المعالجة البيولوجية أو الكيميائية. فالترسيب فى المروقات (Clarifiers) يسمح بإزالة المواد الصلبة التى لم ترسب فـــى أحـــواض الترســـيب الأولية بالاضافة وهو الأهم إزالة المواد الصلبة المتكونة بالتفاعلات البيولوجيـــة أو الكيماوية. والترسيب الأخير قد يكون كذلك على مرحلتين الأولـــى فـــى أحـــواض تقليدية بإمكانيات ميكانيكية لإزالة الحمأة والثانية فى أحواض تلميع ذات سعة كبـيرة (Large Polishing - Lagoons). إستخدام الترسيب الأولى يمكن إلغاؤه فـــى حالـــة الأحمال الضعيفة من المواد الصلبة فى مياه الصرف الخام كما هو الحال فى معظـم صناعة المخبوزات (Dairies) وبعض عمليات تشطيب المعادن وبعض الصناعـــات الأخرى.

إزالة الزيوت بالترسيب يتبع نفس القاعدة فى ترسيب المواد الصلبة ويمكن تنفيذه باستخدام نفس المعدات، ولكن بمعدات خاصة وبالتحديد جهاز الفصل لمعهد البترول الأمريكى (American Petroluim Institute separator) والذى تم تصميمه لمياه الصرف الحاملة لكميات كبيرة من الزيوت الطافية مثل تلك الناتجة عن عمليات تكرير البترول.

الزيوت المذابة والزيوت المستحلبة (Emulsified) شأنها شأن المواد الصلبة المذابة لاتزال بالترسيب وتتطلب معالجة مسبقة (Pri-Trtreatment) والتى تتم عادة بإضافة كيماويات.

التدفقات الصغيرة لمياه الصرف الصناعى تعالج عادة بطريقة الترسيب المرحلى (Batch Settling) بمبدأ الملئ والتفريغ. وهذه قد ترتبط بالمعالجة الكيماوية حيث المواد الصلبة العالقة وكذلك الناتجة عن عملية التفاعل الكيماوى تجمع معا فى حوض المعالجة المرحلى (Batch Treatment Tank). من الناحية العملية يستخدم حوضين حيث يتم تشغيلهم بالتتالى، فبينما أحدهم يمتلئ يكون الآخر فى المعالجة والترسيب. جرت العادة كذلك بالنسبة للكميات الصغيرة من المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف الصناعى أن يتم عمل عدة مراحل فى الحوض، مع سحب المياه الرائقة والفائض فى كل مرحلة مع السماح بتراكم المواد الصلبة لإزالتها فى فترات مرحلية أقل. يتوقف الترسيب على الجاذبية كقوة دافعة ولكن يمكن الاسراع فى عملية فصل المجالات بالطرد المركزى، ولكن تكلفتها المرتفعة الرأسمالية وتكاليف التشغيل تحد من إستخدامها فى كل المخلفات الخام أو المعالجة. فهى تستخدم فقط فى تركيز الحمأة وكذلك فى حالة قلة أحجام مياه الصرف. وحدات الطرد المركزى تشغل مساحة أقل من أحواض الترسيب.

كل تقنيات الترسيب تتوقف على فرق الجاذبية ما بين الأجسام العالقة المطلوب إزالتها والمجال الحامل (السائل). فإذا كان الفرق صغيرا فإن الكفاءة تقل عدا فى حالات زيادة زمن المكث. فى كثير من الصناعات يمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام طريقة الطفو أو التعويم حيث يتم فيها تجميع فقاعات الهواء على الجسيمات العالقة وهذا يعمل على تقليل الكثافة النوعية لوحدة الجسم العالق وفقاعات الهواء بما يجعلها تطفو على السطح وتزال بالكشط (Skimming). وتنفذ عملية تكوين والتصاق فقاعات الهواء بضغط مياه الصرف بالهواء وذلك لإذابة أكبر كمية ممكنة من الهواء فى المحلول، ومع التخلص من الضغط (Release of Pressure) يصعد الهواء من المحلول مكونا فقاعات محيطة بكل الأسطح الملاصقة بما فيها الجسيمات المطلوب إزالتها. يمكن تنفيذ الطفو كذلك بعمل التفريغ (Vacuum) لمياه الصرف بعد تشبعها بالهواء عند الضغط الجوى . ولهذه الطريقة بعض المزايا ولكن التكاليف العالية للمعدات وضخامتها تعطى الأفضلية للطفو بالضغط (Pressure Flotation).

فى الطفو بالضغط فإنه ليس بالضرورة ضغط الهواء فى كل مياه الصرف فعادة يكفى مسار فرعى للمياه (Side Stream) حيث يخلط المسار الفرعى مع التدفق الرئيسى بعد ترك محبس التحرر من الضغط (Pressure Relief Valve) أو التجهيزة الميكانيكية. وبالتناوب يتم الضغط بالهواء لجزء من المياه ثم خلطه مع مياه الصرف الخام. وكلا من هذه التقنيات له مزاياه حيث يستخدم كل على نطاق واسع.

وأكثر التطبيقات العملية فى الطفو هو معالجة المخلفات الزيتية من تكرير البترول والصناعات الكيميائية، مجمعات الصلب ومنشآت تداول الزيوت، كما تطبق على الزيوت النباتية والحيوانية فى منشآت تكرير زيت الطعام وتعبئة اللحوم وتصنيع الصابون.

إن استخدام المصافى (Screening) فى إزالة المواد الصلبة أبسط من الترسيب ولكن له حدود حيث تزيل فقط الأجسام ذات الحجم الكبير. المصافى ذات الفتحات الكبيرة (Coarse Screens) والتى هى عادة مصافى القضبان (Bar Racks) والتى تستخدم عادة للمياه الداخلة إلى عمليات المعالجة، والتى تقدر بحوالى ٢ بوصة وتعمل على إزالة المواد الصلبة كبيرة الحجم (Coarse Solids) والتى تسبب مشاكل للطلمبات والمعدات الأخرى. وتستخدم المصافى صغيرة الفتحات (Fine Screens) فى تصنيع وتعبئة اللحوم. فى كثير من الصناعات الأخرى لإزالة الأجسام أكبر من ٤٠ بمقياس المنخل (Larger Than 40 Mesh). وهذه الإزالة تقلل الحمل على حوض الترسيب وكذلك على آليات إزالة الحمأة. الأكثر أهمية فإن وجود الأجسام الصلبة الكبيرة تتداخل مع وتؤخر إزالة الأجسام الصغيرة فى وحدات الترسيب. والمصافى الدقيقة (Fine Screens) قد تكون ببساطة من نوع التدفق الداخلى (Flow Through Type) ولكن هذه يصعب المحافظة على نظافتها. والأكثر شيوعا هى الأنواع المتحركة هزازه أو دوارة والمصفاه الثابتة حيث يستمر دفع المياه على سطحها.

الأجسام الصلبة المتناهية فى الصغر بما لايمكن من إزالتها بالمصافى الدقيقة يمكن إزالتها بالترشيح. نادرا ما يستخدم الترشيح لمياه الصرف الصناعى الخام نظرا لضعف التدفق والقدرة على الإختراق وكذلك الحاجة للتنظيف من آخر إلى آخر. تستخدم المرشحات كمرحلة أخيرة للترويق (Final Clarification) لمياه الصرف المعالجة وخاصة فى حالة عدم توفر مساحات من الأرض لاستخدام برك التلميع (Polishing Logoons).

إنه من المفضل دائما إزالة الجسيمات الصلبة مبكرا ما أمكن حتى وإن تم ذلك فى سلسلة من العمليات تشمل كمثال مصافى القضبان والمصافى الدقيقة وأحواض حجز الرمال وأحواض الترسيب الأولى. وفى بعض الأحيان يكون من المفضل

خفض حجم المواد الصلبة لسهولة إزالتها، حيث تستخدم أجهزة التقطيع (Commutator) والقاطعات تحت الماء والساحقات (Grinders)، ثم تمرر المواد الصلبة بعد ذلك ضمن تدفقات المياه لمرحلة الإزالة التالية. أجهزة التقطيع أكثر شيوعا فى نظم معالجة مياه الصرف الصحى ثم دخلت فى خدمة الصرف الصناعى.

٣- المعالجة البيولوجية:

عمليات المعالجة البيولوجية التى استخدمت فى الصرف الصحى مناسبة فى كثير من الحالات لمياه الصرف من الصناعات العضوية وذلك مع التعديلات الممكنة نظرا لإختلاف التركيز. المعالجة البيولوجية تستخدم على نطاق واسع فى الصناعات الغذائية (تشمل تعبئة الخضروات والمخبوزات، اللحوم، الدواجن) وصناعة الورق ولب الورق وفى دباغة الجلود وصناعة المنسوجات وفى الصناعات الكيماوية العضوية والصناعات العضوية الأخرى.

المعالجة البيولوجية لمياه الصرف يمكن أن تكون هوائية أو لا هوائية. كلا من هذه العمليات له الخواص والظروف المؤثرة بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة وينتج عنها نوعيات مختلفة من نواتج التحلل ذلك رغم أن الغرض الرئيسى من كليهما هو تحويل المكونات العضوية فى المياه إلى غازات ومواد صلبة يمكن فصلها وماء.

المعالجة الهوائية تتطلب إضافة الأكسجين عادة من الهواء ولكن فى بعض الأحيان فى شكل اكسجين غاز أو فى شكل أملاح النترات. تنشط البكتريا الهوائية التى تحول المادة العضوية إلى ثانى أكسيد الكربون وماء وكائنات حية دقيقة إضافية مع إنتاج قدر قليل من أيونات الكبريتات والنترات. بالإضافة إلى إستمرار توفير الاكسجين بالقدر المناسب فإنه يجب المحافظة على عملية المعالجة الهوائية ضد التغير الشديد فى درجات الحرارة وكذلك وجود المواد السامة مثل أيونات

المعادن بالإضافة إلى التغير المفاجئ من أى نوع. وبالرغم من هــذه الاحتياطــات الضرورية فإن المعالجة الهوائية تعتبر تقنية جيدة واسعة الإنتشار.

وأكثر النظم شيوعا للمعالجة البيولوجية الهوائية هو طريقة الحمأة المنشـــطة، بما فيها التحديث لقــواعد العملية لتتلاءم مع الأحمـــال العضويـــة الكبـــيرة لميـــاه الصرف الصناعى، حيث قد يمتد زمن التهوية من ٢ إلى ٨ ساعات إلى ٢٤ ســاعة أو حتى لعدة أيام للمخلفات عالية التركيز مثل مياه الصرف من الصناعات الدوائيــة وتكرير البترول والزيوت. والتطور الآخر يصمم لتطوير عملية الإلتصاق ما بيـــن الغاز – ومياه الصرف وزيادة إنتقال الأكسجين، حيث تم ذلك باستخدام الاكســـجين بديلا عن الهواء وذلك لتثبيت الحمأة ولعملية الهضم أو التحلل الهوائى.

والبديل للحمأة المنشطة هو المرشحات الزلطية (Trickling Filters) فى نظـــم المعالجة البيولوجية الهوائية. المرشحات الزلطية قادرة على معالجة مياه الصـــرف ذات التغير فى التدفقات وكذا القدرة على تحمل صدمات التحميـــل (Ckock Loads) أكثر من الحمأة المنشطة. الملئ التقليدى للمرشحات الزلطية بالركام (الزلط) إستبدل بأنواع مختلفة من البلاستك كوسط ترشيحى والتى حققت التصاق أفضل مـــا بيـــن الماء والهواء وكذلك درجات أفضل فى المعالجة. ونظرا لخفة وزن البلاستك فـــإن هذه الوحدات أصبح من الممكن بناءها حتى إرتفاع ٤٠ متر ليسمح بزمن التصـــاق أكبر ما بين الماء والهواء وكذلك زيادة توفير الأكسجين نتيجـــة التهويـــة بالـــهواء المضغوط (Forced Air Ventilation).

وتعتبر الملامسات البيولوجية الدوارة (Rotating Biological Contactors) تغير حديث فى المرشحات الزلطية. حيث تستخدم أقراص أو أسطوانات ضخمـــة مـــن البلاستك مجهزة بأزرع والتى تدور فوق سطح الماء، وينغمس ٤٠% من ســـطحها فى الماء، حيث تحمل طبقة من مياه الصرف الى الهواء لعمل المعالجة الهوائيـــة. تكاليف الطاقة للملامسات البيولوجية الدوارة قليلة والكفاءة عالية. والاستخدام العالى

هو بالمراحل المتتالية (Multiplestages). ولقد استخدمت الملامســـات البيولوجيـــة الدوارة أولا فى معالجات مياه الصرف الصحى ثم أصبحـــت الآن تســـتخدم فـــى معالجات مياه الصرف لصناعات عضوية عديدة. وعنـــد توفـــر مســـاحات مـــن الأراضى فإن الأحواض الهوائية (Aerobic Lagoons) توفر وســـيلة غـــير مكلفـــة لمعالجات المخلفات العضوية ضعيفـــة التركـــيز أو لتوفـــير معالجـــة التشـــطيب (Polishing Treatment) بعد المعالجة بالحمأة المنشطة أو أى عمليـــات بيولوجيـــة أخرى. والتكلفة الرئيسية فى هذه الحالة تتمثل فى توفير مســـاحات الأراضـــى وإن كان العائد يمكن تحقيقه بهذا العمل. وفى أبسط أشكالها فإن أحواض التهوية أو برك الأكسدة (Oxidation Ponds) تعتمد على سطحها الكبير والعمق القليل والتى يكـــون عادة أقل من ٥ قدم (١,٥ متر) لتوفير مدخول مـــن الأكســـجين ســـواء بواســـطة الامتصاص المباشر أو بالتمثيل الضوئى. وفى حالة الأحمال العضوية الكبيرة فـــإن الأحواض تعمل بعمق أكبر والاكسجين الضرورى اللازم يتم توفيره بواسطة أجهزة التهوية (Aerators) الطافية أو المثبتة أو بحقن فقاعات الـــــهواء بواســـطة الحقـــن بالهواء. وفى حالة تكون رواسب فى القاع من المواد العضوية فإنها تكون فى حالـــة لاهوائية ولذا فإن الجزء الأكبر من المياه يمكن أن يكون فى الحالة الهوائية وذلـــك بتنظيم الأحمال العضوية بما يتناسب مع الأكسجين المذاب المتـــاح. وفـــى حالـــة الأحمال العضوية العالية يمكن المعالجة باستخدام أحواض التهويـــة المتتاليـــة (In Series).

تستخدم المعالجة العضوية اللاهوائية للمخلفات العضوية عالية التركيز بما فيها الحمأة، حيث يتم تحلل وتدمير المواد العضوية بواسطة كائنات حيه دقيقة لاتحتـــاج إلى أكسجين حر لاستمرار نشاطها ويمكنها إستخلاص الاكسجين مـــن الكبريتـــات ومن المواد العضوية ومن الماء. ونواتج هذا النشاط الحيوى اللاهوائى بالإضافـــة إلى نمو أنسجة الخلايا الحية للكائنات الحية الدقيقة وتكاثرها فإنه ينتج غاز الميثـــان وكبريتيد الهيدروجين والنشادر وكميات قليلة من ثانى أكسيد الكربـــون. والنواتـــج

الغازية من هذا التحلل قابلة للإشتعال ولها رائحة كريهة بما يتطلب السيطرة عليها فى حالة المناطق الأهلة بالسكان. كما يمكن تحقيق التحكم فيها بتغطية الأحواض. فى صناعة اللحوم يمكن أن يكون الغطاء ذاتى بواسطة المواد الطافية وعادة يتم تقوية هذا الغطاء بإضافة القش على السطح. وفى حالة عدم حدوث تموجات زائدة فى السطح فإنه يمكن عمل غطاء محكم ومثبت والذى لايسمح بتسرب الرائحة. السائل الناتج من التحلل اللاهوائى بغيض وخاصة عند تقليبه فهو غير ملائم للصرف ويجب نقله بعناية إلى حوض التهوية. ولمعالجة الأحمال العضوية العالية لكثير من المخلفات الصناعية فإنه من الضرورى تدوير المياه الخارجية من العملية البيولوجية داخل العملية نفسها أو توفير معالجة متعددة المراحل. العملية متعددة المراحل قد تتكون من نظام واحد على التوالى أو مجموعة من عدة عمليات.

بعض مياه الصرف عالية التركيز وإن كانت طبيعتها عضوية قد تفتقر إلى واحد أو أكثر من الأغذية الضرورية للكائنات الحية (Biomass). الدراسة التجريبيه النصف صناعية (Pilot Plant Studies) لهذه المخلفات قد تكون ضرورية لتحديد مدى الحاجة لإضافة الأغذية (Nutrient Addition) وعادة فإن إضافة الفوسفور والنيتروجين ضرورى لتوفير كفاءة الخفض فى الحمل البيولوجى لبعض مياه الصرف لصناعات الخضروات ومعظم الصناعات الخاصة بالفاكهة.

٤- المعالجة الكيميائية:

دور المعالجة الكيميائية قليل فى مجال معالجة مياه الصرف الصحى ومرتبط فقط باستخدام مواد الترويب فى حالة استخدامها. و منذ عام ١٩٧٠ ظهرت المعالجة الطبيعية الكيميائية كمنافس للمعالجة البيولوجية لمياة الصرف الصحى. وبالمقارنة فكثير من الصناعات تستخدم تقنيات المعالجة الكيميائية لتحقيق أقصى تحكم فى مياه الصرف الصناعى، وينطبق ذلك على الصناعات غير العضوية وإن كانت كل الصناعات تستخدم المعالجة الكيميائية إلى درجة ما. بالإضافة إلى

الترويب الكيميائى فإن عمليات المعالجة الطبيعية الكيميائية المستقلة لـــها تطبيقـــات كثيرة فى معالجة مياه الصرف الصناعى مثل بعض التفاعلات الكيميائية التى ليــس لها دور فى معالجة الصرف الصحى.

المعالجة الكيميائية الشائعة الاستخدام هى ضبط الرقم الهيدروجينى (pH). ذلـك لأنه لايجوز صرف المخلفات الحامضية أو القلوية فى المجـــارى المائيـــة أو فـــى شبكات الصرف الصحى ومحطات معالجة الصرف الصحى أو المعالجة للصـــرف الصناعى أو لوحدة المعالجة البيولوجية داخل المصنع. ولذا فإنه يجب العمل علـــى وصول الرقم الهيدروجينى قريبا من التعادل وقد يقبل الرقم الهيدروجينى من ٥ إلى ١٠ لأغراض خاصة ولكن الحدود الضيقة ما بين ٦ إلى ٨,٥ هـــى التـــى يســـمح بصرفها على المجارى المائية.

يمكن لمياه الصرف الصناعى الحامضية والقلوية معادلة (Neutralize) بعضـــها البعض لدرجة ما. وهذه هى الفائدة الكبيرة التى تتحقق نتيجة عملية الخلط والتسوية (Equalization) للصرف وهى تستخدم عادة فى الصناعـــات الكيماويـــة المتعـــددة والصناعات الأخرى المنتجة لمخلفات حامضية وقلوية. والتسوية كذلـــك يمكـــن أن تقلل من الاختلافات الكبيرة للرقم الهيدروجينى فى المسار الواحد لميـــاه الصـــرف الصناعى. التعادل يتطلب دائما إضافات من الحامض أو القلوى للوصول إلى مجال الرقم الهيدروجينى المطلوب. يستخدم عادة حامض الكبريتيك لمعادلة القلوية الزائدة فى حوض التسوية للمخلفات. وقد تستخدم بعض الأحماض الأخرى. وفى بعـــض الاماكن يمكن استخدام ثانى أكسيد الكربون فى الحالة الغازية وذلك فى حالة توفـــر المعدات اللازمة لتحقيق التلامس. أما بالنسبة لمياه الصـــرف الحامضيـــة فيمكـــن استخدام إما إيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم وقد يستخدم الجير المطفى (Lime) لقلة تكلفته، كما أن الحجر الجيرى ($CaCO_3$) هو الأقل فى التكلفة ولكنـــه

غير مناسب فى حالة المياه المحتوية على أملاح الكبريتات حيث يتحـــول الحجــر الجيرى إلى طبقة راسب.

يفضل استخدام الضبط الآلى للرقم الهيدروجينى فى عمليات التعادل أو فـــى أى عملية لضبط الرقم الهيدروجينى (عدا حالات العمليات الصغـــــيرة Batch). يلـــزم توفير إمكانيات الخلط المناسبة مع السماح بالوقت اللازم لإتمام التفاعلات البطيئـــة مثل حالات التعادل مع لبن الجير أو الحجر الجيرى. آلية ضبط الرقم الـــهيدروجينى تؤكد المعالجة للمياه فى المجال المسموح به وتحد من الاسراف فى استخدام المواد.

يعتبر ضبط الرقم الهيدروجينى فى حالات مثـــل حـــالات التعـــادل (Neutral) خطوة متوسطة فى بعض عمليات المعالجة. فإزالة النشادر مـــن ميـــاه الصـــرف بالهواء أو باستخدام البخار (Steam Stripping) يتطلب رقم هيدروجينــــى مرتفـــع والذى يمكن تحقيقه بإضافة لبـــن الجـــير أو الصـــودا الكاويـــة. كمـــا أن الرقـــم الهيدروجينى المرتفع يلزم معادلته قبل الصــــرف. لخفـــض الرقـــم الـــهيدروجينى للتخلص من الفينول (Phenol Stripping) يستخدم حامض الكبريتيك وكذلك يســتخدم نفس الحامض لعملية التخلص من السيانيد الملغاه حاليا (Cyanide Volatalization). الرقم الهيدروجينى المنخفض مطلوب كذلك لاختزال الكرومات فى صناعة الطـــلاء الكهربى (Electroplating). الرقم الهيدروجينى المرتفع مطلوب لتدمـــير الســـيانيد بعملية الكلورة، الرقم الهيدروجينى المرتفع نسبيا يساعد فى ترسيب معظم المعـــادن الثقيلة فى شكل الايدروكسيد. يستخدم الترسيب لإزالة كثير من الملوثات الصناعية. وكما ذكر سابقا فإن أيونات المعادن الثقيلة يمكن أن تزال برفع الرقم الـــهيدروجينى إلى ٨ أو ٩ والاستثناء هو الكروم السداسى والذى يلزم إختزاله أولا إلـــى التكـــافؤ الثلاثى. بعض المعادن التى تشكل مركبات معقدة مع السيانيد (Complexes) يمكـــن ترسيبها فقط بعد تدمير السيانيد. ويستخدم تفاعل الترسيب فى إزالة الفوسفات فـــى صناعات الاسمدة، الصناعات الكيماويـــة واســـتخلاص العنـــاصر مـــن خاماتـــها

(Mining). وذلك يتطلب المعالجة بلبن الجير أو الشبة (Alum) أو بكليهما. وإزالــة الفلوريدات فى صناعة الألومنيوم والصناعات الكيماوية الأخرى تتــم بالترسـيب بالجير.

عملية الترويب الكيماوى هى الصورة العكسية للترسيب حيث لايتــم تفــاعل المروب مع المادة الكيمائية ولكن تزال مع الراسب. يمكن استخدام عمليات الترويب والترغيب فى معالجة مياه الصرف الصناعى فى مســتحلبات الزيــت والأجسـام الصغيرة جدا وغير قابلة للترسيب مثل الصبغات، زغبات الــورق (Paper Fibers) ومياه صرف صناعة اللحوم ودباغة الجلود وبعض المواد الطينية ذات الفائدة فــى الصناعات التعدينية.

وتعتبر الأكسدة الكيميائية منافس للأكسدة البيولوجية كتقنية للمعالجــة. وهــى عادة أكثر تكلفة ولكنها تحقق مفعول أكثر ومناسب لمياه الصــرف الصنــاعى ذات الملوثات المقاومة. الهواء والاكسجين مؤكسدات ضعيفة نسبيا والتى تعتبر مفيدة فى حالة استخدامها مع الكائنات الحية الدقيقة ولكن بخلاف ذلك فتأثيرها محدود. لكــل من الكلور والأوزون مجال أكبر للاستخدام فى إزالة الملوثات التى يصعب أكسدتها مثل النشادر ومركبات السيانيد والفينول والصبغات والملوثات الكيماوية الأخــرى. يمكن استخدام الكلور فى الشكل الغازى أو كمحلول هيبوكلوريت. ويستخدم ثــانى أكسيد الهيدروجينى (H_2O_2) لمنع حدوث التعفن ولكنه أكثر تكلفة من المؤكســدات الأخرى. ولقد استخدمت الأكسدة الكهربيــة (Electrolytic Oxidation) لمعالجــة السيانيد وبعض الملوثات فى مياه الصرف لطلاء المعادن وكذلــك فــى عمليــات التطهير والأكسدة فى وجود الكلوريدات والتى يمكن أن تتحول إلى الهيبوكلوريت.

الاختزال الكيماوى له إستخدام رئيسى فقط وهو إخــتزال الكــروم السداســى التكافؤ الناتج من عملية الطلاء الكهربى وعمليات الأنودة (Anodizing)، المناعــة، (Passivating) وعمليات تشطيبات المعادن الأخرى إلى الشكل الثلاثى التكافؤ والذى

يمكن معالجته. ويستخدم لهذا الغرض أى عامل إختزال قوى مثـــل ثـــانى أكســـيد الكبريت (SO_2)، وبعض مشتقات السلفيت (Sulphite) وملح صوديوم ميتا سلفيت.

يبنى إختيار أى نظام للمعالجة الكيميائية على كمية ونوع مياه الصرف وكذلـك على مدى توفر وأسعار الكيماويات الضرورية والكيماويـــات الأكـــثر أمانـــا فـــى الاستخدام وكذلك نوعية وكمية الحمأة (الـــروبة) الناتجـــة. يجـــب أن يؤخـــذ فـــى الاعتبار التخزين السليم والتداول للكيماويات.

وتبرز الحاجة فى المعالجة الكيماوية إلى التحكــــم فـــى العمليـــات (Process Control) أكثر من نظم المعالجة البيولوجية. فإذا كانت كمية الكيماويات المســتخدمة زائدة أو أن زمن التفاعل المناسب لايتحقق، عندئذ فإن التفاعل الكيماوى قد يحـــدث فى مستوى أدنى من المطلوب والنتيجة هو تكون ملوثات أخرى يصعب التخلـــص منها. لذلك فإنه يجب أن تجرى تجارب نصف صناعية (Pilot Plant Studies) على كمية مناسبة من مياه الصرف أو بتصنيع مياه صرف مشابهة وذلك لعمل معـــدلات التصميم النهائية. وليس من المفضل عمل الدراسات والتجارب النصـــف صناعيـــة بواسطة موردى المعدات والأجهزة، حيث يلزم الاشراف على ذلك بواسطة صاحب المنشأة الصناعية أو مستشاره الهندسى.

٥- معالجات متنوعة:

إن المعالجات التى تم ذكرها لاتتم كل بمفردها وإنما يتم معظمها سويا. فمثـــلا المعالجة البيولوجية الهوائية تليها معالجة طبيعية (عادة الترسيب) لإزالة الكائنـــات الحية الدقيقة التى تكونت. الترسيب عادة يليه الترشيح لتوفيره مياه معالجـــة جيـــدة (Highly Polished). ويمكن تحقيق نفس المهمة بالترشيح ولكن ذلك يتطلب غســـيل عكسى متكرر وكذلك زيادة فى زمن الترشيح. وقـــد تعـــالج ميـــاه الصـــرف ذات الأحمال العضوية العالية بالمعالجة البيولوجية اللاهوائية مع الإزالة التالية للملوثـات

فى واحد أو أكثر من الأحواض المهواه (Aerated Lagoons). فـــى هـــذه الحالـــة تستخدم التهوية الميكانيكية فى الحوض الأول من مجموعة الأحواض المهواه علـــى التوالى حيث مطالب الأكسجين عالية وتعتمد باقى الأحواض على التهوية الطبيعيـــة والتمثيل الضوئى لتوفير الاكسجين اللازم.

عمليات المعالجة التى تمت مناقشتها وهى فصـــل المجـــالات (المـــائى عـــن الصلب) والمعالجة البيولوجية والمعالجة الكيميائية كلها تقنيات إستخدمت فى معالجة مياه الصرف الصناعى. بعض العمليات المنفردة أو مع بعضها قد ينتج عنه كفـــاءة إزالة أكثر من ٨٠ إلى ٩٠%. ولكن بعض المعايير تتطلب نسبة إزالة قد تصل إلى ٩٨%. وللحصول على هذه الدرجة العالية من الإزالة فإنه من الضرورى أن يؤخذ فى الاعتبار إستخدام عمليات مصممة لتنقية المنتجات، وإن كانت هـــذه التقنيـــات تحتاج إلى الدراسة الاقتصادية حتى يمكن تطبيقها فى معالجـــات ميـــاه الصـــرف الصناعى حيث يندر استخدامها. ويمكن القول أن تكاليف الحصول على أقصى تنقية أو الإزالة لآخر ٥-١٠% من الملوثات غالبا ما يساوى أو يزيد عن تكاليف الإزالة لنسبة ٩٠-٩٥% الأولى. وذلك فى حالة استخدام العمليات المتطورة لمعالجة ميـــاه الصرف الصناعى.

العمليات المتطورة لمعالجة مياه الصرف الصناعى تشمل:

أسلوب الترشيح المتطور مثل المرشحات الرملية السريعة، الترشيح باســـتخدام الوسط الترشيحى المتعدد والمصافى بالغة الصغر (Muti Media - Filteration and Microstrainers). ويستخدم الادمصاص بالفحم النشط لإزالة المواد العضوية المذابة فى كل مياه الصرف الصناعى ومعالجات المياه الأخرى. وفـــى عمليـــات أخـــرى يستخدم التبادل الأيونى والتناضح العكسى أو الديلـــزه الكهربيـــة (Electroialysis) وطريقة (Coalescence).

ويجب أن يؤخــذ فى الاعتبار عند دراسة نظم المعالجـــة الكاملـــة واختيـــار عمليات المعالجة التطبيقات العملية للمعالجة ومياه الصرف والمجرى المائى الـــذى سيتم صرف المخلفات عليه.

إن تطبيق أى من هذه التقنيات المتطورة يمكن إقرار صلاحيته بعـــد دراســة مكثفة بالتجارب النصف صناعية (Pilot Plants). فى حالة استخدام هذه العمليـــات المتطورة فإن المياه المنتجة يمكن أن تكون من النوعية الجيدة بما يحقق ليس فقـــط التدوير وإعادة الاستخدام ولكن يعتبر كذلك إقتصادى وإجراء حضارى.

التطهير هو آخر المعالجات لمياه الصرف الصناعى المحتويـــة علـــى ميـــاه الصرف الصحى. وقد لايكون التطير لازما فى معظم مياه الصرف الصنـــاعى وإن كانت الكلورة تستخدم فى تطهير مياه الصرف من تصنيع اللحوم ودباغـــة الجلـــود والصناعات المتعلقة بها. التطهير غير مؤثر فى حالة تحوصل الكائنـــــات الدقيقـــة المطلوب تطهيرها (Encapsulated) فى مواد معينة. وقد تستخدم الكلورة المســـبقة فى بعض الحالات للقضاء على المكونات التى تتأكسد بالكلور مادة التطهير العاديـــة هى الكلور ومـــركبات الكلور وإن كان الأوزون ومواد أخـــرى مســـتخدمة فـــى عمليات التطهير والذى يعنى به أساسا قتل الكائنات الحية الدقيقة والتى من بينها مـــا يسبب الأمراض. التبريد يعتبر من المعالجات الضرورية لميـــاه الصـــرف التـــى لايكون من الملائم صرفها على المجارى المائية أو شـــبكات الصـــرف الصحـــى لإرتفاع درجة حرارتها. نادرا ما يستخدم التبادل الحرارى إلا فى حالات الإرتفـــاع الزائد فى درجة حرارة مياه الصرف الصناعى ولو أنه لايحقق المعالجة المطلوبـــة. ويعتبر التبريد باستخدام طريقة التخفيف بالمياه النظيفة محظور. ويستخدم التـــبريد بالتبخير (Evaporative Cooling) فى أحواض الـــرش (Spray Ponds) أو أبـــراج التبريد (Cooling Towers) عادة فى الصناعة. وفى ظروف خاصة يمكن اســـتخدام

برج التبريد كمرشح زلطى (Trickling Filter) لإزالة الملوثات العضويـــة وإن كان هذا الأسلوب مازال فى الراحل الأولى للاستخدام وليس واسع الإنتشار.

يستخدم الحريق على نطاق واسع فى حرق المخلفات الصلبـــة مثـــل القمامـــة ومخلفات الصناعات العضوية مثل صناعة المعلبات. ويستخدم كذلك لحرق الحمـــأة من بعض الصناعات مع الخلط ببعض المخلفات القابلة للاختراق مثـــل الـــورق أو القش أو المنسوجات البالية وذلك لتوفير الحرارة اللازمة للتجفيف ولبدء الاشـــتعال. والحريق يفيد كذلك فى حرق المخلفات السائلة مثـــل الزيـــوت والمذيبـــات ولكـــن لايستخدم عادة لحرق المخلفات من مياه الصرف.

الفصل الثالث

طرق معالجة مياه الصرف الصناعى

(لبعض الصناعات)

إنه من البديهى أن كل منشأة صناعية تختلف عن الأخرى بالنسبة لطبيعة وحجم والتغير فى المخلفات. وكذلك بالنسبة للعوامل الفنية والإقتصادية التى تراعى عند الاختيار لتقنيات المعالجة. ورغم هذا فإن المعالم المشتركة لكل الصناعات أو لكل وحدة داخل المنشأة الصناعية قد تكون واحدة بالنسبة للصرف الصناعى.

وعند مناقشة خصائص معظم الصناعات والتى تشمل عمليات الإنتاج المنتجة لمياه الصرف وحجمها وخصائصها وطرق التحكم والمعالجة والحدود النوعية والكمية. وفى ظروف الإنتاج العادية فإن هذه قد توفر نقاط إرشادية لحل مشاكل الصرف فى صناعة معينة. وفى معظم الحالات تعتبر خطوط إرشادية عامة تعاون فى بناء الدراسة الحقلية للمنشأة (Plant Survey) وكذلك مقترحات عمليات المعالجة التى تحتاج إلى دراسة مكثفة.

وسيتم فى البنود التالية تناول طرق معالجة الصناعات التالية:

١- الصناعات المعدنية الحديدية والغير حديدية.

٢- تكرير البترول.

٣- صناعة الورق ولب الورق.

٤- صناعة المنسوجات.

٥- دباغة الجلود.

٦- الصناعات الدوائية.

٧- الصناعات الغذائية.

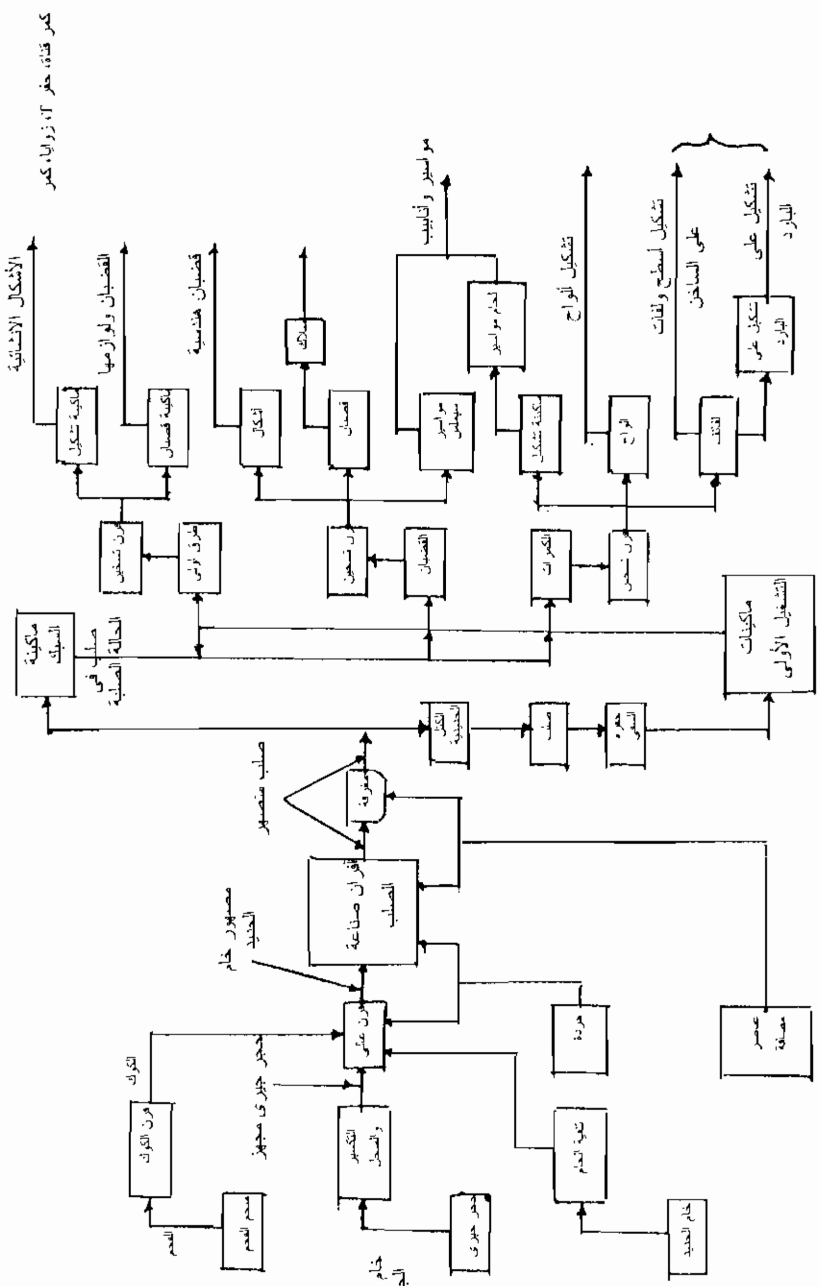
معالجة مياه الصرف للصناعات المعدنية

أولاً صناعة الحديد والصلب:

١- مصادر مياه الصرف في صناعة الصلب هى التداول والتخزين وإنتاج الكـوك وصناعة الحديد والصلب الخام، إنتاج منتجات الصلب وسـيتم مناقشـة هـذه المصادر.

المواد الخام من الفحم، خام الحديد، الحجر الجيرى ومواد خفض درجة حرارة الانصهار (Fluxes) يتم طحنها وتخزينها فى كومـات كبـيرة. سـقوط ميـاه الأمطار خلال هذه الكومات تحتوى على مـواد صلبة عالية ومـواد مذابـة. المياه التى يتم سحبها من خزانات الوقود السائل تحتوى كذلك على ملوثات.

عمليات التركيز للكوك حول أفران الكوك حيث يتحول الفحـم (Coal) بفعـل درجة الحرارة العالية إلى الشكل المسامى للكربـون والـذى يسـمى الكـوك (Coke). يتم مرور هذه المياه المستخدمة فى تبريد الكوك إلى المصـافى ثـم الترسيب لإزالة حبيبات الكوك الدقيقة ثم إعادة استخدام المياه ثانيا فى تـبريد الكوك أو التخلص منها. المواد المتطايرة المنتجة فى مرحلة تحول الفحم إلـى الكوك تتكون من القار والنشادر وزيوت خفيفة وغاز وقود. يتم تبريدها لتكثيف القار وبعض المـاء ثم يتم غسيلها إما بحامض الكبريتيك أو بالمـاء البـارد لإزالة الأمونيا. يتم إستعادة الأمونيا فى شكل بلورات كبريتـات الأمونيـا أو محلول الأمونيا المائى. محلول الأمونيا المخفف المتبقى من هذه العملية عبـارة عن سائل أمونيا مخفف يستخدم فى تبريد الكوك أو صرفه. الغازات الناتجـة من مرحلة إستعادة الأمونيا يتم غسيلها بمذيب بترولى لإزالة الزيوت الخفيفـة، ثم تستخدم بعد ذلك مباشرة كوقود غاز أو تحريرها خـلال وحـدات إزالـة الكبريت قبل صرفها.



شكل (٣/١) مخطط تفصيلى لإنتاج الحديد والصلب

٢–مصادر وخواص مياه الصرف من صناعة الحديد والصلب:

مياه الصرف من هذه العمليات تكون نتيجة غسيل الغازات، ومن تكثيف المياه، تبريد الخبث من الفرن، وفى عمليات تشكيل الصلب. دقائق الحديد والأتربة من المطحنة يتم خلطها مع الكوك البارد ومادة خفض درجة حرارة الانصهار وتسخينها لتكوين منتج متجانس يسمى اللباد (Sinter). غازات الحريق تحتوى على أتربة والتى تزال إما بالتمرير الحلزونى (Cyclones) أو بالغسيل بالماء.

فى فرن صهر الحديد يتم تغذية الكوك وخام الحديد والحجر الجيرى من أعلى الفرن بينما يتم دفع الهواء الساخن من قاع الفرن. الهواء يؤكسد الكربون فى الكوك مكونا أول أكسيد الكربون. والهيدروجين فى الكوك يتحول إلى بخار الماء. هذه الغازات تعمل على إختزال خام الحديد إلى معدن الحديد وثانى أكسيد الكربون. غازات التفاعل التى تحتوى على أول وثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين وبخار الماء والهيدروكربونات والأتربة تترك الفرن من أعلا، بينما الحديد والخبث المنصهر يتم سحبهم من القاع. الغازات المنتجة يتم معالجتها فى معدات للتنظيف بما فيها الغسيل بالماء. مياه الغسيل هذه تحتوى على مواد صلبة عالقة ومواد مذابة من هذه الغازات.

يتم تصنيع الصلب بصهر الحديد المنتج من فرن إنتاج الحديد مع الصلب الخردة ومادة خفض درجة حرارة الانصهار، مع معالجة الخليط بالأكسجين أو خام الحديد لخفض المحتوى من الكربون. عادة يتم غسيل الغازات الناتجة من فرن صهر الصلب بالماء لخفض صرف الأتربة. الخبث الناتج من فرن إنتاج الحديد أو من فرن إنتاج الصلب يتم تبريده عادة بالرش بالماء. هذا الماء الذى استخدم فى الغسيل يكون محتوى على مواد صلبة عالقة ومواد مذابة.

٣- عمليات تشغيل الصلب تنتج مياه صرف مختلفة مثل:

- مياه الغسيل من درفلة التشكيل نتيجة التبريد المباشرة والتزييت مع الزيوت المستحلبه.

- مياه قلوية الناتجة من الغسيل القلوى لأشكال الصلب لإزالة الشحوم ولإعدادها للعمليات التالية.
- مياه حامضية نتيجة غسيل أسطح الصلب بحامض الكبريتيك أو بحامض الهيدروكلوريك لإزالة الصدأ ثم الغسيل بالماء.
- مياه أحواض الترسيب الكهربى للمعادن وذلك فى حالة تغطية أسطح الصلب بالزنك أو القصدير أو أى معادن أخرى.

كما توجد مصادر أخرى لمياه الصرف مثل مياه الصرف الصحى ومياه الصرف من محطة توليد الطاقة.

٤-متوسط تركيز الملوثات في مراحل تصنيع الحديد والصلب كالآتى:

- مصنع الكوك:

٥ – ٣٥ ملجرام / لتر فينول

أو– ٥٥ ملجرام / لترسيانيد

١ – ٧٨ ملجرام / لتر امونيا

٧ – ٦٠٠ ملجرام / لتر اكسجين حيوى مستهلك (BOD_5).

- منطقة فرن صهر الحديد :

او – ٨ ملجرام / لتر فينول

٢و ٠ – ٢٢ ملجرام / لتر سيا نيد

او ٠ – ٥٤ ملجرام / لتر أمونيا

١٦٠ – ١٢٠٠٠ ملجرام / لتر مواد صلبة عالقة

- أفران الصلب:

٢٣٠ – ١٧٠٠ ملجرام / لتر مواد صلبة عالقة

- التشكيل على الساخن:

١٦٠ - ١٢٠٠ ملجرام / لتر مواد صلبة عالقة

٠,٣ - ١٢٠ ملجرام / لتر زيوت

- التشكيل على البارد:

التشكيل على البارد يشمل الدرفلة، التخليل(pickling) باستخدام حـــامض أو قلوى لتحضير سطح الصلب، الجلفنة بالزنك، والتغطية بالقصدير.

٠,٥ - ٦٠ ملجرام / لتر سيانيد

٣- ٢٧٥ ملجرام / لتر أكسجين حيوى مستهلك (BOD_5)

٥- ١٢٥٠ ملجرام / لتر مواد صلبه عالقة

٨ - ٩٠٠ ملجرام / لتر زيوت

٥٠ - ٣٠٠٠ ملجرام / لتر حموضة

١٠ - ١٧٥٠ ملجرام / لتر حديد

١ - ٢٠٠ ملجرام / لتر كروم كلى

٠,٥ - ١٠٠ ملجرام / لتر كروم سداسى التكافؤ

٠,٣ - ١٥٠ ملجرام / لتر زنك

٠,٢ - ٢٥٠ ملجرام / لتر قصدير

٢٠٠ - ١٠٠٠ ملجرام / لتر كلوريدات

٧٥ - ١٢٠٠ ملجرام / لتر كبريتات

٥-معالجة مياه الصرف:

تشمل المعالجة إزالة الملوثات بالطرق الطبيعية أو الكيميائية يلى ذلك المعالجـة البيولوجية والتى تتم فى محطات المعالجة الخاصة بالصرف الصحـى. قديمـا كانت المياه الملوثة يتم تخفيفها بمياه التبريد حيث يتم الصرف بعد ذلـك فـى أقرب مسطح مائى ونظراً لأن هذا مخالف لقوانين البيئة فقد تم إيقافه فى كـل دول العالم.

- طرق المعالجة المستخدمة هى كالآتى:

- يزال الفينول الصاعد من مصنع الكوك باستخلاصه ببخار الماء أو باستخدام مذيب. المعالجة البيولوجية ضرورية لخفض تركيز الفينولات.
- تزال المواد الصلبة العالقة والزيوت فى أحواض الترسيب المزودة بكاشطات علوية وسفلية، وقد يستخدم أحيانا مساعدات الترويب من مواد البولى إليكتروليت لتحسين عملية الفصل للمواد الصلبة. كما يستخدم الطفو بالهواء الذى يلى عملية إلغاء الاستحلاب لاستعادة زيوت التشحيم واستخدامها.
- المعالجة بلبن الجير (Lime) والتى يليها الترويب والترسيب والترشيح فى وسط ترشيحى مزدوج تعمل على خفض المواد العالقة فى مياه الصرف كما تعمل على ترسيب وإزالة المعادن الثقيلة المذابة.
- يزال الكروم من مياه صرف مطحنة القصدير وجلفنة ألواح الصلب بالاختزال بكبريتات الحديدوز (Copperas) أو باستخدام ثانى أكسيد الكبريت. الكروم المختزل يتم بعد ذلك ترسيبه بالجير.
- السيانيد فى مياه الصرف من مطحنة القصدير وجلفنة ألواح الصلب بالزنك يمكن معالجته بالكلوره القلوية، ولكن السيانيد فى مياه صرف الكوك وفرن صهر الحديد يجب معالجتها بيولوجيا نظراً لأن كلورة هذه المياه تعمل على تكون الكلوروفينولات التى تسبب مذاق سئ للمياه كما أنها تقاوم أى عملية تحلل تالية.
- مياه معالجة السطح الخارجى بالتخليل (Pickling)، يتم معالجتها بتعادلها باستخدام الجير يلى ذلك الصرف على المسطح المائى أو شبكة الصرف.
- مياه التبريد وبعض مياه الصرف من العمليات الأخرى يتم ترشيحها فى مرشح متعدد الوسط الترشيحى لخفض المحتوى من المواد الصلبة العالقة.

- المعالجة البيولوجية أساسية لكثير من مكونات مياه الصرف من مصنع الكوك، فرن الحديد، ورش الدرفلة – تتم المعالجة البيولوجية فى أحواض التهوية(Alerated Lagoons)، أو المرشحات البيولوجية، أو بطريقة الحمأه المنشطة.

ثانياً: صناعة المعادن غير الحديدية:

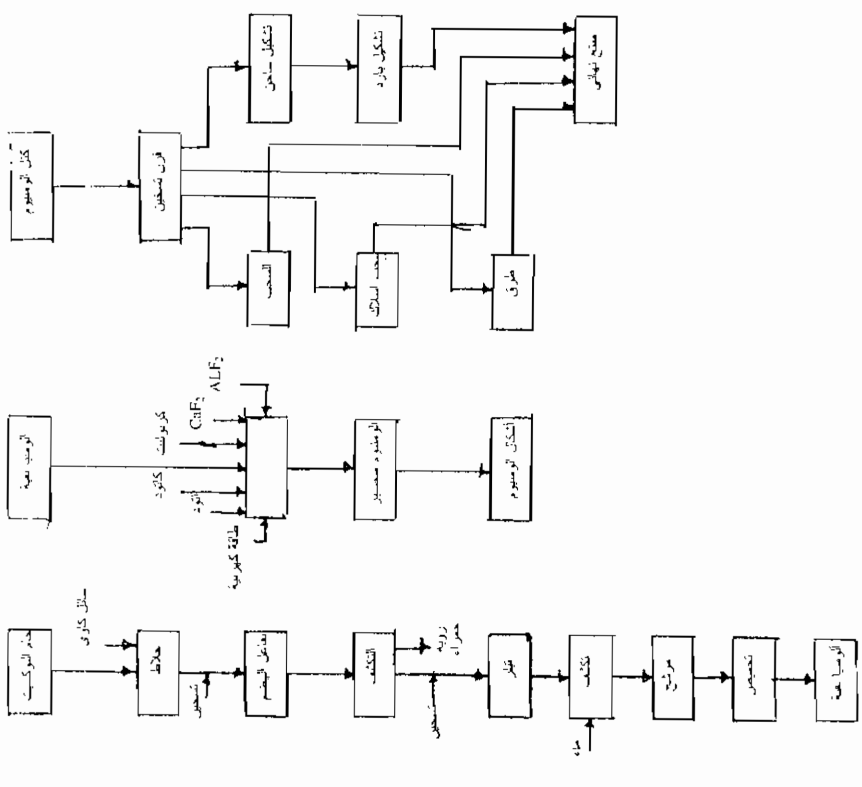
المعادن غير الحديدية تشمل كل المعادن عدا الحديد والصلب ذلك رغم أن النيكل والكروم يدخلوا تحت مجال المعادن الحديدية. فى هذا المجال ستتم الدراسة للإنتاج الأولى من الخام والثانى من الخردة لمعادن الألومنيوم، النحاس، الرصاص، الزنك، وهذه المعادن معا.

١-**الألومنيوم:** شكل(٣/٢)، شكل(٣/٣).

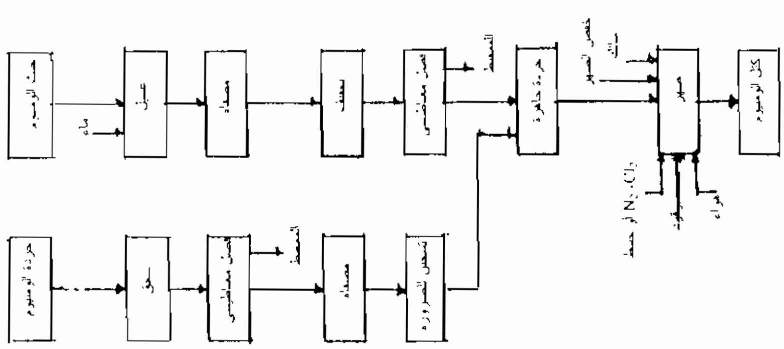
أ-الألومنيوم الأولى:

يصنع الألومنيوم الأولى من خام البوكسيت (Bauxite) والذى يتم معالجته بمحلول الصودا الكاوية أو بالتخفيف والخلط مع الجير والصودا آش والحرق ثم الإذابة فى الماء. محلول البوكسيت القلوي يتم عندئذ تسخينه تحت ضغط لإذابة الألومنيا. يتم معالجة الناتج(Digested slurry) وهو فى شكل الروبة فى وحدة التركيز (Thickners) لإزالة المواد غير المذابة ثم سحب المحلول المتدفق أعلى وحدة التركيز إلي جهاز التبلر (Crystalizer) وذلك لاستعادة بلورات الألومنيا. يتم معالجة السائل الضعيف من وحدة التبلر بالصودا الكاوية الطازجة ثانيا ثم يعاد تدويره إلى العملية لاستعادة ألومنيا إضافية. الروبة من قاع وحدة التركيز يتم غسيلها بالماء بطريقة الغسل العكسى لإزالة صودا كاوية إضافية، ثم الصرف إلى حوض تجميع مياه الصرف (يسمى الصرف فى هذه الحالة الروبه الحمراء).

الطريقة التبادلية للمعالجة هى بخلط مياه الصرف، الصودا آش، الحجر الجيري مع روبة الغسيل ثم يتم حرق(Calcine) المخلوط. الخليط المحمص أو المحروق يتم إذابته فى الماء و ترشيحه. النواتج الصلبة للترشيح والتى تسمى الطينة البنى (Brown Mud) يتم صرفها باستخدام الماء (Slurring) إلى حوض تجميع مياه الصرف.



شكل (٣/٢) مخطط إنتاج الألومنيوم من الخام (الأولى)



شكل (٣/٣) مخطط إنتاج الألومنيوم من الخردة (الثانى)

روبة الطينة الحمراء هى التدفقات الرئيسية للمخلفات من عملية تنقية البوكسيت، ذلك رغم وجود مخلفات أخرى مثل مياه التكثيف، مياه التبريد، مياه صرف المكثف البارومترى، مياه الصرف الصحى.

المكثفات البارومترية هى جزء من أجهزة التبخير (Evaporators) تستخدم لإزالة الأملاح الزائدة من سوائل الصودا الكاوية المعاد استخدامها. طبيعى أن المياه المكثفة تكون متعادلة ولكن عمليات الحمل (Carry Over) قد تضيف قيمة قلوية إلى المياه المكثفة والتى عندئذ يلزم معالجتها.

البوكسيت المنقى(Refined) يتم خلطة مع الكريوليت (Cryolite – وهو فلوريد الصوديوم والألومنيوم)، فلوريد الكالسيوم، وفلوريد الألومنيوم فى خلية كهربية. يتم صهر الشحنة ثم تمرير تيار كهربى خلال الخلية. الكربون فى الأقطاب (Electrodes) يعمل على إختزال الألومنيا إلى معدن الألومنيوم ويتأكسد إلى أول وثانى أكسيد الكربون. الغازات الصاعدة من الخلية يتم غسيلها (Scrubbed) بالماء لإزالة الفلوريدات. مياه الغسيل هى المصدر الرئيسى للتلوث. المصدر الثانى لمياه الصرف هو عملية الدرفلة أو التشكيل (Rolling) حيث يتم تسخين كتل الألومنيوم فى فرن، ثم تشكيلها إلى الشكل المرحلى (Intermediate) فى ماكينة تشكيل ساخنة (Hot Mill) ثم التشطيب فى ماكينة تشطيب باردة (Cold Mill). ماكينات التشكيل أو الدرفلة تشبه تلك المستخدمة فى صناعة الصلب. أشكال مسطحات الألومنيوم يتم تبريدها بالالتصاق المباشر مع الماء، أو أن يتم التبريد والتزليج (Lubricated) برش قطع أشكال الألومونيوم بمستحلب الماء – الزيت. مياه الصرف من هذه الخطوة طبيعى أنها تحتوى على زيوت، مواد صلبة عالقة، مواد صلبة مذابة.

ب- الألومنيوم الثانى:

إنتاج الألومونيوم الثانى هو من خردة الألومنيوم. يتم فصل الخردة إلى الخردة العادية والخردة المحتوية على الحديد. يتم تسخين الخردة المحتوية على نسبة عالية من الحديد فى فرن مائل قاعدة تحميله إلى درجة حرارة حتى ٧٦٠م، عندئذ يخرج مصهور الألومنيوم من الفرن ثم يتم صبه فى شكل كتل الألومنيوم (Ingots).

بالنسبة لخردة الألومنيوم المعادية فإنه يتم طحنها ثم تجفيفها وتمريرها خلال منخل (Screen). يتم تمرير المادة المحتوية على الألومنيوم خلال الفصل المغناطيسى، ثم يخلط مع مواد خفض درجة حرارة الإنصهار (Fluxes) وكذلك مع عناصر معدنية مضافة (Alloying Elements)، ثم شحن الخليط إلى الفرن، حيث تنصهر الشحنة مع تمرير غاز النيتروجين خلال المصهور لخلط الشحنة. ثم يتم تمرير غاز الكلور خلال المصهور لإزالة معدن المغنسيوم. يتم كشط الخبث من الشحنة المنصهرة، وأخيراً يتم صب الألومنيوم فى شكل كتل. تزال أبخرة مادة خفض درجة حرارة الانصهار وكلوريد الألومنيوم الناتجة من فرن الصهر بواسطة غسيل الغازات. مياه الغسيل الناتجة هى مصدر الملوثات. هذا بالإضافة إلى التصاق الألومنيوم المباشر بما يضيف إلى مياه الصرف.

نموذج لعملية الألومنيوم الثانى.

ج- خواص مياه الصرف:

الملوثات الرئيسية فى مياه الصرف لصناعة الألومنيوم هى المواد الصلبة العالقة والمواد الصلبة المذابة، الزيوت، الفلوريدات.

مجارى الطمى الأحمر (الروبة الحمراء) من مخلفات تنقية البوكسيت تحتوى على الروبة بنسبة ١٥ - ٢٠% كمواد صلبة، الرقم الهيدروجينى ١٢,٥ والتحليل الكيميائى للروبة كالآتى:

أكسيد الحديديك	Fe_2O_3	٣٠ - ٦٠%
أكسيد ألومنيوم	Al_2O_3	١٠ - ٢٠%
سيليكا	SiO_2	٢,٥ - ١٤%
ثانى أكسيد التيتانيوم	TiO_2	صفر - ١١%
أكسيد الكالسيوم	CaO	٥ - ١٠%
أكسيد صوديوم	Na_2O	١,٥ - ٨%

د- معالجة مياه الصرف:

مياه الصرف (الروبة الحمراء) يتم معالجتها فى أحواض ترسيب ليمكن ترسيب المواد الصلبة العالقة وكذلك تبخر المياه بالطاقة الشمسية. كما يمكن إزالة المواد العالقة فى أحواض الترسيب مع إستخدام مواد الترويب ومساعدات الترويب لتعجيل الترسيب.

يتم فصل الزيوت والشحوم باستخدام جهاز فصل الزيت عن الماء، حيث يتم إستحلاب الزيت ثم كسر هذا المستحلب باستخدام الحرارة أو بتغير الرقم الهيدروجينى – يتم تحسين فصل الزيت باستخدام تجهيزات الطفو بالهواء.

يمكن ترسيب الفلوريدات باستخدام الجير أو كلوريد الكالسيوم. يمكن كذلك خفض التركيز بتمرير مياه الصرف خلال برج محشو بالألومنيا المنشطة (Activated Alumina) أو بطبقة من (Hydroxyapatite). يلزم معادلة مياه الصرف إلى رقم هيدروجينى ٦,٥ – ٨.

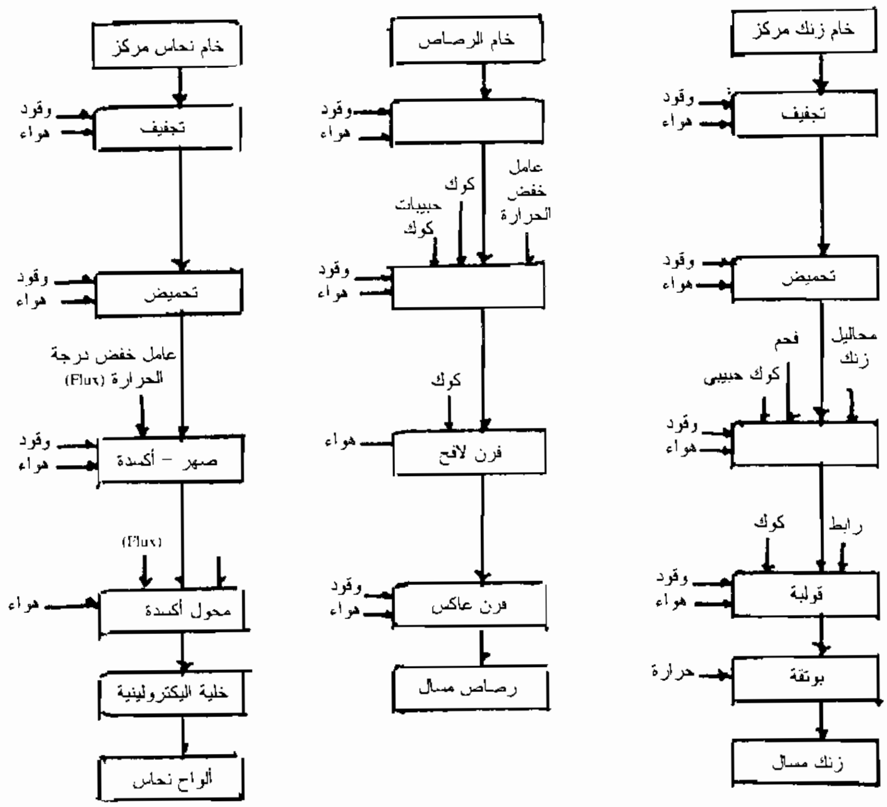
الخطوط الإرشادية لوكالة البيئة الدولية (EPA 1977) بنيت على أن أفضل تكنولوجيا عملية تتطلب تجهيز مصانع تنقية البوكسيت بأحواض تتسع لكل

عمليات مياه الصرف. مصانع الصهر الأولى يجب أن توفر الإزالة للفلوريد، المواد الصلبة العالقة، الزيوت والشحوم.

عمليات المسبوكات يجب إعدادها بالمعدات اللازمة لغسيل الأدخنة، التعادل، إزالة المواد الصلبة العالقة، عدم الالتصاق المباشر بمياه التبريد. معظم متطلبات الخطوط الارشادية لعام ١٩٨٣ بالنسبة لمصانع الألومنيوم الأولى هي متطلبات داخلية، حيث شملت برنامج المحافظة على الماء لخفض كميات مياه الصرف. هذا بالإضافة إلى أن الإنخفاض الثانى للفلوريد يجب خفضه كذلك ليصبح تركيزه قليل جدا. كذلك شملت الدراسة عمليات الصهر الثانية على أن تكون بدون أدخنة لإزالة المغنسيوم من الألومنيوم المنصهر.

٢- النحاس، الرصاص، الزنك: شكل (٣/٤)

الخام الرئيسى لمعادن النحاس، الرصاص، الزنك هو خام الكبريتيدات (Sulphides) والذى ينبعث منه ثانى أكسيد الكبريت ومواد دقيقة أثناء عملية التحميص (Calcining) فى وجود الهواء الجوى. صرف المياه من هذه المصانع هو مياه الغسيل للأدخنة التى تقام على أفران التحميص ووحدات الصهر، وأحيانا نظافة المعدات. عادة مصانع الصهر الأولى لهذه الصناعات توضع فى أماكن جافة نسبيا ومنعزلة، كما أن صرف مياه المخلفات ذات حجم محدود نظرا للقيمة العالية التى تحد من صرفها.



شكل (٣/٤) مخطط تصنيع زنك، رصاص، نحاس من الخام (الأولى)

أ- النحاس:

خامات النحاس يتم تجفيفها وتحميصها عند درجة حرارة ٦٥٠م للتخلص من الأكاسيد المتطايرة وكذلك لتحويل كل الكبريتيد فى الخام إلى الكبريت. الخام المحمص يتم خلطه مع مادة خفض درجة حرارة الانصهار (Flux) ووضعه فى الفرن العاكس حيث يتم فيه صهر المعدن بإنعكاس الحرارة (Reverbaratory Furnance) حيث تنصهر الشحنة وتنفصل إلى الخبث وخليط معدنى من نحاس

ورصاص وزنك (Matte). يتم وضع الخليط المعدنى فى أفران المحولات (Converters) حيث يتم نفخ الهواء خلالها لأكسدة كبريتيد الحديد إلى الأكاسيد، وهذه تتحد مع السيليكا مكونة خبث، كما يتحول كبريتيد النحاس إلى النحاس الخام وثانى أكسيد الكبريت. عادة يتم صب النحاس الخام فى شكل أقطاب كهربية (Electrodes) حيث يستخدم كآنود (Anode) فى خلية إليكتروليتيه، والكاثود نحاس نقى وسائل الإلكتروليت كبريتات النحاس. يتم دفع تيار كهربى إلى الخلية وألواح النحاس النقية عند الكانود، حيث يرسب النحاس النقى على الكانود تاركا الآنود وتسقط الملوثات فى القاع فى شكل حمأة (Sludge).

<u>مياه الصرف:</u>

يكون مصدرها عادة غسيل الغازات الخارجة من المحمصة، من الفرن العاكس، ومحول الأكسدة، حيث المياه هذه تحمل مواد صلبة عالقة، ثانى أكسيد الكبريت، معادن ثقيلة. عادة يتم معالجة الاليكتروليت بعد الاستخدام بالحديد لترسيب النحاس تاركا محلول مخفف من كبريتات الحديدوز للتخلص منه أو لمعالجته.

<u>ب- الرصاص:</u>

يتم تجفيف خام الرصاص ثم يخلط مع الكوك ومادة خفض درجة حرارة الانصهار Flux، ثم التلبيد (Sintered) إلى أكسيد الرصاص وثانى أكسيد الكبريت. يتم وضع اللباد فى فرن الصهر مع الكوك، الجير، الحديد الخردة ثم يدفع الهواء عند قاع الفرن. يتم إختزال أكسيد الرصاص إلى معدن الرصاص بواسطة فحم الكوك، حيث يتأكسد الكوك إلى أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون. يتجمع الرصاص المنصهر عند قاع الفرن تعلوه طبقة من خليط معدنى من كبريتات الحديدوز وكبريتات النحاس (Matte). يتم سحب طبقة الخليط المعدنى والخبث (Slag) من الفرن ثم يجمع الرصاص. تعاد طبقة الخليط المعدنى إلى العملية بينما

يتم طحن الخبث بالماء. يتم وضع الرصاص من فرن الصهر إلى الفرن العاكس حيث فى ظروف درجات حرارة معنية مع استخدام إضافات والهواء، يتم طرد الملوثات فى الرصاص ثم يتم سحب المنتج النهائى للرصاص وصبه (Cast).

مياه الصرف:

المصدر الرئيسى لمياه الصرف الصناعى هى مياه طحن الخبث ومياه غسيل الأدخنة والغازات. مياه طحن الخبث يتم تدويرها ويتم التخلص من جزء منها. الغسيل المبتل لغاز تلبيد الرصاص وخاصة فى مرحلة التلبيد والحرق ينتج أدخنة تحتوى على ثانى أكسيد الكبريت ومواد صلبة عالقة ومعادن ثقيلة ومواد أخرى موجودة فى الخام.

ج- الزنك:

خام الزنك يتم تجفيفه ثم تحميص الخام لتحويل خام السلفين إلى (Sulfite) أكسيد الزنك وثانى أكسيد الكبريت. الخام المحمص يتم خلطه مع الكوك والفحم (Coke, Coal) ومحاليل الزنك ثم توضع الشحنة فى ماكينة التلبيد (Sintering). تشكيل اللباد مع الكوك ومادة الربط فى صورة قوالب ثم شحنها فى بوتقة الصهر. بخار الزنك المتصاعد يتم تكثيفه إلى الحالة السائلة على المكثفات ثم يتم صبه (سبكه) فى الشكل النهائى. يتم غسيل غازات الأدخنة بتمريرها خلال وحدة غسيل الغازات (Scrubber).

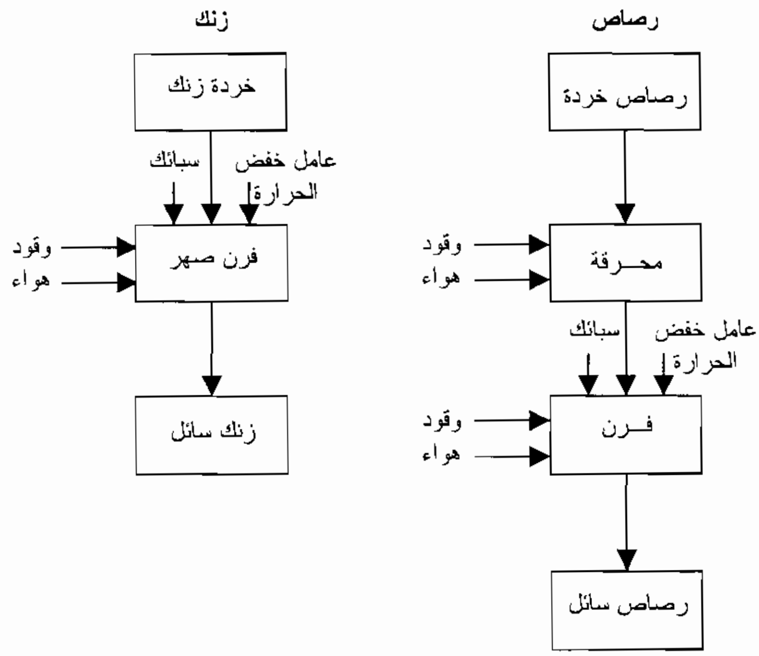
مياه الصرف:

مياه الصرف الناتجة هى خلال عملية غسيل الغازات الناتجة من التحميص والفرن والبوتقة ومن غسيل جهاز الترسيب الكهروستاتيكى ومن عملية خروج الرواسب من البوتقة.

الملوثات الرئيسية فى مياه الصرف هى الاملاح المذابة، الكبريتات، الزنك.

د- الصهر الثانى لخردة النحاس، الرصاص، الزنك: شكل (٣/٥)

جزء كبير من النحاس والرصاص والزنك يتم إنتاجه بمعالجة الخردة والمواد الأخرى المحتوية على المعادن خلاف الخامات. يقدر إنتاج العمليات الثابتة بصهر خردة النحاس بحوالى ٤٥%، ٦٠% للرصاص، ٢٠% للزنك. عملية إستعادة هذه المعادن من الخردة متشابهة. خردة المعدن والمواد الحاملة للمعدن يتم تشوينها وطحنها. يتم التعامل مع الرصاص بالحرق لإزالة الملوثات. الشحنة الحاملة للمعدن يتم خلطها مع العناصر المسبوكة (Alloying Elements) ومادة خفض درجة حرارة الإنصهار ثم توضع فى الفرن العاكس لتحويل الشحنة إلى معدن منصهر، الزنك يمكن سحبه أو تقطيره من الشحنة واستعادته بالتكثيف.



شكل (٣/٥) مخطط تصنيع زنك، رصاص، نحاس من الخردة (ثنائى)

مياه الصرف الناتجة من هذه العمليات هى مياه الغسيل للأدخنة والغازات ومياه طحن الخبث ومياه النظافة.

الملوثات الرئيسية فى هذه العملية هى المواد الصلبة والمعادن الثقيلة.

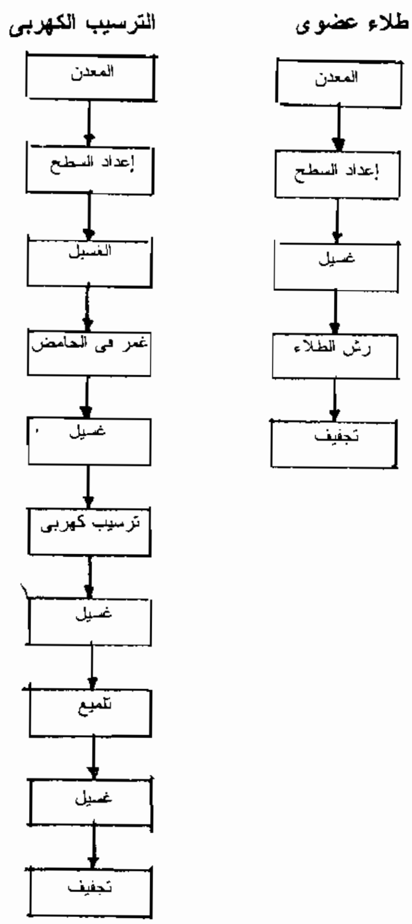
<u>هـ- معالجة مياه الصرف:</u>

عملية معالجة مياه الصرف فى حالة إنتاج المعادن من الخامات أو من الخردة متشابهة. يتم معالجة مياه الصرف لإزالة المواد الصلبة العالقة وخفض تركيز المعادن الثقيلة، ثم تتم عملية التعادل باستخدام لبن الجير (Lime). يتم ضبط مخلفات مياه الصرف للرصاص إلى الرقم الهيدروجينى ٧ لخفض المحتوى من مركبات الرصاص المذاب. يتم ضبط الرقم الهيدروجينى لمياه صرف الزنك إلى رقم هيدروجينى من ٦ إلى ٧ لمنع زيادة إذابة الزنك. ثم يتم ضبط الرقم الهيدروجينى للنحاس إلى أكثر من ٦,٥ لزيادة ترسيب المعدن. عملية إزالة المواد الصلبة العالقة تتم إما بالترسيب فى أحواض الترسيب أو بالترويب ثم الترشيح. إستخدام البولى اليكتروليت يساعد فى عملية الترسيب. يتم فصل الزيت فى جهاز فصل الزيت عن الماء (Oil Water separator) المزود بكاشط (Skimmer). إزالة السيانيد تتم عادة بالكلور.

٣- تشطيبات المعادن: (Metal Finishing) شكل (٣/٦)

صناعة تشطيب المعادن تجرى على نطاق واسع للمعادن كما فى حالة الصلب حيث تنفذ إما للحماية أو للشكل الجمالى. عملية التشطيب أو التغطية تشمل أساسا معادن النحاس، النيكل، الزنك، القصدير، المواد العضوية، البويات.

مياه الصرف المنتجة من هذه الصناعة هو الصرف من خلال عمليات التنظيف لإزالة الصدأ والقشور (Scales)، الأتربة، الزيت والشحومات، كما قد تكون نتيجة معالجة سطح المعدن بالحامض أو بالقلوى فى عملية (Pickling) وكذا فى عملية الغسيل للمعدات بعد تشطيبها.



شكل (٣/٦) مخطط عمليات تشطيب المعادن

أ- تنظيف سطح المعدن وتحضيره:

سطح المعدن المطلوب تشطيبه يكون مغطى بالصدأ أو القشـــور أو الأتربـــة والزيوت والشحوم التى يجب إزالتها قبل التغطية. يتم إزالة قشور الصدأ بـــالطرق الميكانيكية (الفرشة السلك أو باستخدام الرمالة – Sand Blast) أو بالغمر فى حوض به حامض أو قلوى أو بالتنظيف الكهربى. يمكن إزالة الزيت، الأتربة فى حمامـــات

قلوية أو حامضية أو فى المذيبات أو حمامات الفوسفيت. تحضير السطح يشمل وسائل ميكانيكية أو أحواض حامضية حيث تعد السطح لألتصاق طبقة التشطيب (أو التغطية) وهذه العملية تسمى (Etching).

عمليات النظافة المختلفة تتطلب إستخدام المياه لإزالة مادة حمامات الغمر من سطح المعدن لايقاف أى نشاط كيماوى وللتنظيف. مياه النظافة ومياه صرف أحواض التحضير تحتوى على مواد عالقة وزيوت وشحوم (عادة مستحلبه)، معادن مذابة، مواد مذابة أثناء مرحلة النظافة والتحضير.

ب- الطلاء، التغطية: (Plating and Coating)

قطعة معدن الأساس التى تم تحضيرها وتنظيفها كما فى الخطوات السابقة، يتم تغطية سطحها بغمر القطعة فى حمام مع إرسال تيار كهربى بين القطعة وآنود مغمور، أو بغمر القطعة فى حمام معدن منصهر أو برش الطلاء على القطعة. مصادر مياه الصرف فى هذه العمليات هى المياه التى تنتشر خارج الحمام أو الرش الغير متقن. نادرا ما يتم صرف محتوى هذه الحمامات والتخلص منها نظرا لما تحتويه من مواد ذات قيمة إقتصادية. ولكن عادة تصل المواد إلى الصرف فى عمليات التنظيف، بما تحتويه من مواد عالقة ومعادن ثقيلة، أحماض، سيانيدات، ملوثات أخرى حيث يتم صرف هذه المياه من منطقة الطلاء.

الغسيل الأخير (Final Rinse)

القطعة المعدنية التى تم تغطيتها أو طلاءها يتم إعطائها غسيل نهائى لإزالة آثار مياه الغسيل إلى الصرف. عند هذه النقطة فإن مياه الصرف تحتوى على كل كيماويات الحمام مثل المعادن الثقيلة والأحماض والسيانيدات. العمليات التالية هى التجفيف وتأثيرها قليل بالنسبة لمياه الصرف. يمكن أن تحتوى مياه الصرف

الصناعى على مياه صرف صحى ومياه صرف من محطات القوى كما هو الحـــال فى أى صناعة.

جــ- خواص مياه الصرف:

صناعة طلاء المعادن مختلفة ومتعددة بما يجعل من الصعب تقييم نوعية معينة لمياه الصرف الصناعى، ولكن خواص مياه الصرف لمصنـــع الطـــلاء بالنحـــاس، الكروم، النيكل طبقا لتقرير وكالة البيئة الدولية (FFA) كما فى الجدول التالى:

مثال لخواص مياه الصرف لتشطيبات المعادن:

	مياه صرف الطلاء الكهربى للمعادن	مياه صرف صناعة المحركات بالرطل / ١٠٠ محرك		
		نظافة حرارية	طلاء بالبوية	طلاء كهربى
الحجم	-	٥٠٠٠ جالون	٢٤٠٠ جالون	٥٠٠٠ جالون
BOD	-	٤	٦	-
مواد صلبة عالقة	-	١٢	٤	٨
زيوت	-	٤	٤	٨
كروم سداسى	١٧	٠,٤	٠,٢	٠,٧
كروم ثلاثى	٠,٠٥	-	-	-
حديد	-	٠,٢	٠,٢	٠,٢
زنك	-	-	١,٨	٠,٢
نحاس	٣٢	-	٠,١	-
نيكل	٧	-	-	-
فوسفات	٣٤	٢,١	٢,١	-
سيانيد	٥٠	-	-	١,٨
فلورايد	-	٠,٤	٠,٤	-
فينول	-	٠,٠٠١٨	٠,٠٠٠٤	-

د- معالجة مياه الصرف:

طرق المعالجة الرئيسية لمياه الصرف فى هذه الصناعة كالآتى:

(١) **السيانيد:** يتم ضبط الرقم الهيدروجينى عند ١١ وذلك بإضافة الصودا الكاوية ثم إضافة الكلور أو الهيبوكلوريت. التفاعل يتوقف علـــى الوقــت ومرحلـــة الكلورة يجب أن تستمر لمدة ساعة.

(٢) **محلول الكروم السداسي:** يفضل عدم خلطه مع أى مياه صرف أخرى ويتــم ضبط الرقم الهيدروجينى عند ٣. يضاف ثانى أكسيد الكبريت أو مادة البـــاى سلفيت (Bisulphite) لاختزال الكروم السداسى إلى الكروم الثلاثى التكافؤ.

(٣) مياه الصرف التى تحتوى على المعادن الثقيلة والكروم الثلاثى أو المخـــتزل بعد تدمير السيانيد، حيث يتـــم ترســيب المعــادن الثقيلـــة بضبــط الرقــم الهيدروجينى عند ١٠ باستخدام الصودا الكاوية أو باستخدام الجير المطفـــى. وهذا يحول المعادن الثقيلة إلى أملاح الايدروكسيدات أو إلى الأكاسيد والتـــى تخرج من المحلول فى شكل مواد صلبة عالقة.

يتم فصل المواد الصلبة العالقة من المحلول بالترسيب فى أحـــواض تعمـــل بالدفعة الواحدة (Batch) أو فى أحواض الترسيب المستمر. يمكـــن إضافـــة البولى إلكتروليت لتحسين عملية الترسيب. يمكن فصل الزيوت والشحوم فـــى أحواض الدفعة الواحدة أو فى أحواض ترسيب عادية وذلك بكشـــطها، كمـــا يمكن استخدام الطفو بالهواء لتحسين عملية الفصل. توجـــد طـــرق معالجـــة أخرى ليست مستخدمة على نطاق واسع وهذه تشمل التبادل الأيونى لإزالـــة المعادن الثمينة. يمكن تدمير السيانيد باستخدام مخلوط من الفورمالين وثـــانى أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) ومميزات ذلك أنه لاينتج مواد سامة.

مشكلة معالجة مياه الصرف صعبة نظرا لأن المحاليل المطلوب معالجتها مخففة نسبيا، إلا أن خفض الحجم يمكن تحقيقه بإعادة استخدام المياه عدة مرات – يمكن تحقيق ذلك بعدة أحواض للغسيل. حيث الحوض الأول يستخدم للغسيل الأولى للقطعة والحوض الثانى للغسيل مرة ثانية. مياه غسيل الحوض الأول تستخدم لزيادة المياه فى الحمام نظرا لتركيزها، مياه الحوض الثانى تكون مخففة جدا حيث يمكن استخدامها فى الحوض الأول والغسيل بالرش يمكن أن يقلل من حجم مياه الغسيل حيث تستخدم فقط كمية المياه المطلوبة. تدوير المياه بعد الغسيل يمكن أن يقلل من كمية مياه التعويض المطلوبة (Make -up- Water).

تكنولوجيا معالجة مياه الصرف من الطلاء المعدنى تشمل تدمير السيانيد، إختزال الكروم السداسى، ترسيب المعادن الثقيلة يليه إزالة المواد الصلبة العالقة.

جدول (ــــ) الأحمال القياسية للملوثات الخام من صناعة الصلب (القيم وحدات/الطن)

	مصنع الكوك		فرن الصهر		منطقة إنتاج الصلب		التشكيل على البارد	
	متوسط	المجال	متوسط	المجال	متوسط	المجال	متوسط	المجال
التدفق (جالون)	٣٠٠٠	٤٢٠٠-١٤٠٠	٢٢٠٠	٤٠٠٠-١٥٠٠	٤٠٠٠	٧٢٠٠-٣٠٠٠	٢٢٠٠	٥٠٠٠-٤٥٠٠
مواد صلبة عالقة (بالرطل)			٥٥	٢٢٣-٣	٣٠	٥٠-١٠	٧	٣٢-١
زيوت (بالرطل)							٩	١٦ – ٠,١٥
فينولات (بالرطل)	٠,٥	٠,٩ – ٠,١	٠,٠٢	– ٠,٠٠٢ ٠,١٥				
سيانيد (بالرطل)	٠,٣	– ٠,٠٠٢٥ ٣,٩	٠,٠٩	٠,٤ – ٠,٠٠٥			٠,٥	٠,١ – ٠,٠٠٩
أمونيا (بالرطل)	٠,٣٥	– ٠,٠٢٥ ١,٩٥	٠,٢٥	١٠ – ٠,٠٠٢				
حموضه (بالرطل)								
كلوريدات (بالرطل)							١٠	٥٥ – ٠,٩
كبريتات (بالرطل)							٤	٣٠ – ٠,٥

تابع جدول (ــــ) الأحمال القياسية للملوثات الخام من صناعة الصلب (القيم وحدات/الطن)

	مصنع الكوك		فرن الصهر		منطقة إنتاج الصلب		التشكيل على البارد	
	متوسط	المجال	متوسط	المجال	متوسط	المجال	متوسط	المجال
فوسفات (بالرطل)							٤	١,٢ – ٢٢
إجمـــالى الكـــروم (بالرطل)							٠,٥	٠,٠٠٥ – ١,٦
كـــروم سداســـى (بالرطل)							٠,٤	٠,٠١ – ٢
حديد (بالرطل)							٠,٤	٠,٠١ – ٢
زنك (بالرطل)							٥	٠,٣ – ٣٠
BOD_5 (بالرطل)							٢	٠,٠٨٥ – ٥
قصدير (بالرطل)							٠,٣	٠,٠٠٥ – ٤,٥

التشكيل على الساخن

التدفق بالجالون	المتوسط ٧٥٠٠	المجال ٤٣٠ – ١٧٠٠
مواد صلبة عالقة (بالرطل)	المتوسط ٤٠	المجال ١٠ – ٧٥
زيوت (بالرطل)	المتوسط ٣,٥	المجال ٠,٠٢ – ٧،٣٥

جدول (ــــ) خواص مياه الصرف للصناعات الغير حديدية (بالرطل/الطن من الإنتاج)

البيـــان	صهر الخام	صهر المخلفات	السبك	التشكيل
الحجم (١٠٠٠ جالون/الطن)	١٥ – ٤٢	٠,١ – ٤	٠,١ – ١٢	٠,٢ – ٣٤
الرقم الهيدروجينى	٢,٧ – ٤,٠	٦,٠ – ٨,٥	٦,٩ – ٧,٦	٥ – ٨,١
المواد الصلبة العالقة	آثار – ٩٢	٥ – ٨٣٠٠	– –	٠,٨ – ٥,٠
المواد الصلبة المذابة	٦٤ – ٧٠	٨٠ – ١٣٠	٦,٤ – ١٦,٢	٢,٢ – ٣٠٠
الزيوت	--	--	١ – ١,٦	٠,١ – ١٥
COD	--	--	--	٥ – ١٥
كلوريد	--	--	--	١,٣
فلوريد	١١,٤ – ١٥٨	--	--	--
كبريتات	١٢ – ٢٥,٢	--	--	--

جدول (ـــــــ) مياه الصرف من الصهر للخام (الصرف بالوحدات / طن من المنتج)

	الرصاص	الزنك				
	تحبيب الخبث	غسيل الماء	غسيل التحميص	غسيل الكاثود	غسيل الفرن	غسيل البوتقة
الحجم (١٠٠٠ جالون/طن)	٤,٥ – ٨٠	٠,٢ – ٢,٣	٠,٢ – ٤	٢,٥	٠,٦	٠,٥ – ٢
مواد صلبة عالقة (رطل)	٦٠٠ – ٨٠٠	--	--	--	--	١,٧
مواد صلبة مذابة (رطل)	--	--	--	--	--	١,٢
كبريتات (رطل)	--	--	٢٥ – ١٠٠	--	--	--
زنك (رطل)	--	--	٠,٧ – ٣	--	--	٠,٢

(٣) مياه الصرف من صهر المخلفات:

	النحاس / النحاس الأصفر	الرصاص
الحجم	٠,٥ – ٣٧ جالون	٠,٤ جالون
الحموضة ($CaCO_3$)	١,١٥ – ١٤,٢٥	
المواد الصلبة الكلية	١,١٥ – ٣	
زيوت	٠,١٦ – ٢,١٤	
كبريتات		٤٠٠
سيانيد	صفر – ٠,٧٥	
كروم	٠,٠٢ – ٠,٣٧	
نحاس	٠,٠١ – ٢,١٩	
رصاص		أكثر من ٢٢
نيكل	٠,٠١ – ٠,٢	
زنك	٠,٠٤ – ١,٢٢	

ثالثا معالجة مياه الصرف الصناعى من عمليات تكرير البترول

تكرير البترول (Petroleum Refining) شكل (٣/٧)

عمليات تكرير البترول الخام تنتج المواد التالية:

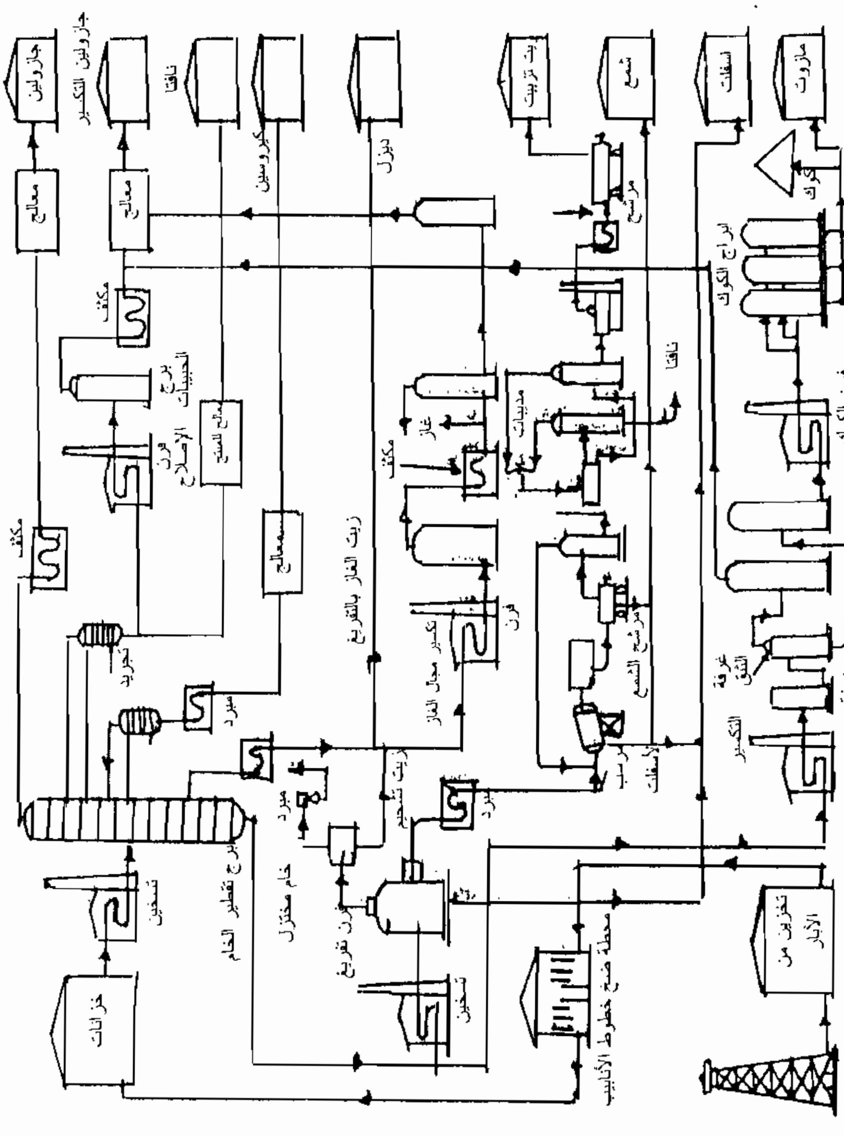
الجازولين، وقود الطيارات، زيت التشحيم، مواد تقطير متوسطة، وقود متبقى (سولار، ديزل، مازوت)، أسفلت. هذا بالإضافة إلى عدد كبير من منتجات بقدر صغير مثل الكوك، الشمع، الغاز المخلق، الشحم. مصانع تكرير البترول هى عادة منشآت ضخمة بها حدة عمليات معقدة بما تحتويه من مختلف العمليات الإنتاجية. العمليات الإنتاجية التى تعتبر المصدر الرئيسى لمياه الصرف سيتم مناقشتها كالآتى:

١ - النقل والتخزين:

يصل الزيت الخام إلى مصنع التكرير بواسطة خط مواسير، عربات فنطاس أو بالنقل البحرى، ثم يتم تخزينه فى مصنع التكرير قبل تكريره. الفقد لايمكن تجنبه بسبب النقل وكذلك فى أى وقت يتم فيه نظافة هذه الخزانات، خطوط المواسير والمعدات. المياه التى يتم فصلها أثناء النقل وأثناء التخزين فى أحواض التخزين هى مياه صرف ملوثة بدرجة كبيرة. تخزين منتجات التكرير هو مصدر مشابه للتلوث.

٢ - إزالة الأملاح من الزيت الخام: (Crude Oil Desalting)

فى موقع بئر الإنتاج يكون المنتج من الزيت الخام هو خليط مع المياه المالحة. حتى بعد الفصل فى الموقع فإن الزيت الخام الذى ينقل إلى مواقع التكرير يحتوى على أملاح أكثر مما يتلاءم مع معدات التكرير، حيث يتم إزالته بمياه الغسيل فى وحدة إزالة الأملاح (Desalter). مياه الغسيل هذه تكون ملوثة بالملح، الزيت، كميات صغيرة من مواد أخرى.



شكل (٣/٧) مخطط لتكرير البترول وتصنيع المنتجات البترولية

٣- التقطير: (Fractionation)

عملية التقطير يتم بها فصل مكونات الزيت الخام فى عدة مراحل تتوقف على طبيعة المنتجات المطلوبة للسوق ونوع الزيت المستخدم. مياه الصرف الرئيسية هى مياه التبريد والتى تكون نظيفة فى حالة خروجها من المبردات باستثناء حدوث التسرب أحيانا. فى حالة المكثفات بالضغط والمبردات الأخرى التى تعمل بالتصاق الماء مع الزيت، وبالتحديد فى عمليات التقطير بالبخار فإن مياه الصرف تحتوى على كميات كبيرة من المواد البترولية. كما يوجد كذلك تلوث لمياه العمليات نتيجة التسرب، الفقد، نظافة المخلفات.

٤- التكسير: (Cracking)

يتم التكسير الكيماوى لجزيئات البترول الكبيرة إلى منتجات خفيفة إما حراريا أو باستخدام عامل وسيط أو باستخدام الهيدروجين. أى من هذه التقنيات أو جميعها له متغيرات كثيرة ومسميات خاصة. كل هذه العمليات تنتج مياه صرف زيتية، عادة تحتوى على ملوثات إضافية مثل المواد الصلبة العالقة والكيماويات غير الزيتية. وهذه تكون نتيجة تبريد وتكثيف المياه ومن المياه الناتجة عن التفاعلات الكيماوية ومن مختلف مصادر فقد المواد ومن تنظيف المعدات.

٥- إعادة تنظيم الجزئيات: (Molecular Rearrangement)

بالإضافة إلى تفكك الجزئيات بالتكسير فإنه يمكن بناء وإعادة بناء جزيئات البترول أو إعادة تنظيمها بأى من الطرق المختلفة. وهذه تشمل البلمرة، الألكلة (Alkylation)، إعادة ترتيب الذرات للجزئ مع ثبات عددها ونوعها (Isomerization). كل هذه العمليات يجب أن تسبقها المعالجة الكيماوية لإزالة مركبات النيتروجين والكبريت. المنتجات التى أعيد تنظيم جزئياتها يتم تقطيرها لاستعادة المنتجات المطلوبة. مياه الصرف تشبه تلك الناتجة من عمليات التكسير بالإضافة إلى المحاليل القلوية الناتجة عن تعادل المنتجات الحامضية.

٦- التنقية: (Refining)

يستخدم هذا التعبير ضمن التعبير العام لتكرير البترول حيث يشمل عمليات مثل إزالة الأسفلت بالمذيب، (Solvent Dewaxing)، إزالة المواد الشمعية بالمذيب، واستخلاص وفصل المركبات الأروماتية (Aromatics)، إستعادة البيوتاداى إين (Butadiene) من نواتج التقطير (Fractions) ذات الأربع ذرات من الكربون 4) (Carbon Fractions والمعالجة المائية (Hydro Treating). مياه الصرف هى أساسا المحاليل القلوية، مياه غسيل المعدات، مختلف المستحلبات المتكونة فى كل وقت وذلك عند التصاق الزيت الماء والمذيبات ومواد أخرى.

٧- عمليات أخرى:

تجرى بعض العمليات الأخرى ذات طبيعة خاصة والتى لاتتم فى كل مصانع التكرير حيث تنتج مياه صرف صناعى. من بين هذه إنتاج الشحوم أو خلط زيت البترول مع الصابون لصناعات معينة، إنتاج الأسفلت وخلطه مع عامل وسيط ومواد أخرى، التجفيف باستخدام مرشحات ذات أساس طفلى، التحليه بإزالة مركبات الكبريت والنيتروجين (Sweetening). مياه الصرف من هذه العمليات المختلفة هى كذلك مختلفة حيث تشمل بالإضافة إلى المواد الزيتية والكيماويات الحرارة والمواد المستخدمة فى العملية والمواد المزالة من المواد البترولية ومنتجات التفاعلات الأخرى.

٨- خواص مياه الصرف:

الجدول (١/٤) يوضح الشكل العام لمياه الصرف من تكرير ١٠٠ برميل من الزيت الخام.

الجدول (١/٤) نموذج لمياه الصرف من مصنع تكرير البترول

المصدر	الحجم بالجالون	الأكسجين الحيوى BOD بالرطل	الفينولات بالرطل	الكبريتيد بالرطل
إنتاج الزيت الخام والتخزين	٤٠٠	١	--	--
إزالة الأملاح	٢٠٠	٢,٠	٠,١	٢,٠
التقطير	٦٥٢٠٠	٧,٣	١,٧	١,٠
التكسير (حرارى، مـــائى، بعامل وسيط)	٢٩٠٠٠	١٤,٥	١٥,٤	٦.٦
إعادة تنظيم الجزيئات	٧٠٠٠	٠,١	٠,١	١,٧
التنقية	٣٥٨٠٠	٥٣,٩	٥,٢	٠,٧
الصرف من جـــهاز فصـــل الزيت (API)	١٥٠٠٠٠	٢٠٤,٥	١٦,٩	٥,٦

هذا بخلاف مياه التبريد.

الزيوت والشحوم التى يتم تعيينها بطرق الاســـتخلاص بالـــهكزين (Hexane) يمكن أن تكون حرة أو طافية أو مذابة أو مستحلبه. مياه الصرف من جهاز فصـــل الزيت (API) تحتوى على ١٠ – ١٠٠ ملجرام/لتر زيت. المواد العضوية مقاســـة كأسجين حيوى مستهلك (BOP) تتراوح ما بين ٢٥٠ – ٣٥٠ ملجرام/لتر. إختبـــار الكربون العضوى الكلى (TOC) مفيد لهذا الغرض ولكنه لايستخدم عـــادة. المـــواد العالقة تتراوح ما بين ٥٠ – ٢٠٠ ملجرام/لـــتر، الفينـــولات مـــن ٦ إلـــى ١٠٠ ملجرام/لتر والأمونيا من ١٥ إلى ١٥٠ ملجرام/لتر. الكبريتيد بنسب ولكن البيانـــات غير متاحة. بعض الملوثات الأخرى الأقل تأثيرا تشمل المـــواد الصلبـــة المذابـــة، السيانيدات، درجة الحرارة، والمعادن الثقيلة.

٩- معالجة مياه الصرف:

توجد تقنيات كثيرة متاحة للاستخدام فى مصانع تكرير البترول ولكن المعدة العالمية الأساسية هى بفصل الزيت بالجاذبية والموصفة بالتفصيل بواسطة معهد البترول الأمريكى (API). هذه الأجهزة تزيل الجزء الكبير من الزيت الطافى فى مياه صرف تكرير البترول، رغم أنها لا تعمل على تكسير المستحلب ولا تزيل المواد المذابة، إلا أن تأثيرها يعتمد على درجة الحرارة، كثافة الزيت، حجم نقط الزيت، ووجود مواد عالقة أخرى. جهاز الفصل بالألواح المتوازية هو نوع آخر (Parallel. Plate Separator) والذى يستخدم كذلك لنفس الغرض. المياه الخارجة من جهاز فصل الزيت بالجاذبية تحتوى على ٥ إلى ٣٥ ملجرام/لتر من الزيت المتبقى، أساسا فى شكل مستحلب. بعض تكنولوجيات فصل الزيت والتى تعتبر مؤثرة فى خفض المواد الصلبة العالقة والملوثات التى تحملها تشمل الطفو بالهواء والمرشحات بالركام. الأول واسع الانتشار فى الاستخدام وعادة يدعم بإضافة الكيماويات للمساعدة فى الترويب مثل أملاح الألومنيوم والحديد زائد البولى إليكتروليت العضوى. يستخدم الطفو عادة حيث يليه الفصل بالجاذبية. تستخدم المرشحات عادة قرب نهاية مراحل التنفية، تلى عملية الحمأة المنشطة أو أى معالجة بيولوجية أو كيماوية أخرى.

المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة يمكنها إزالة من ٨٠ إلى ٩٠% من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) والزيت ذلك رغم أن التفاعلات أبطأ من مياه الصرف الصحى. يلزم زيادة تركيز المواد العالقة فى السائل المخلوط (Mixed Liquor) حيث تكون من ٥٠٠ إلى ٣٠٠٠ ملجرام/لتر. زمن المكث أطول. المرشحات الزلطية وأحواض التهوية أو برك الأكسدة تستخدم كذلك فى المعالجة البيولوجية لمياه الصرف لتكرير البترول.

تكسير مستحلب الزيت يتم مع تحطم وتحلل الزيت فى المعالجـــة البيولوجيــة لمياه الصرف النهائية للتكرير. فى بعض الحالات تكون الإضافات الكيماوية أكـــثر ملاءمة حيث أنها تسمح باستعادة مشتقات بترولية معينة عند المصــــدر. المعالجــة بالحامض عادية رغم استخدام كيماويات أخرى والتى تكون مفضلة فـــى عمليــات معنية.

التسخين رغم ارتفاع تكلفته فإنه يستخدم للمشتقات عالية الغليان حيث يتم فـــى خزانات مجهزة بمواسير البخار (Steam Coils). لقد أوصت وكالة البيئـــة (EPA) بالتحكم فى الملوثات والإقلال منها زائد المعالجة التى تعادل المعالجة البيولوجيـــة بالمرحلة الواحدة يليها الترشيح بالمرشحات الحبيبية. كما يوصى ببديل آخر وهـــو الحمأة المنشطة ثم الادمصاص على الفحم المنشط.

رابعا معالجة مياه الصرف الصناعى من صناعة الورق ولب الورق

١- فى عملية صناعة لب الورق، يتم فصل المكون الرئيسى للورق وهو شعيرات السيليلوز عن المصدر الرئيسى لشعيرات السيليلوز وهو الخشب أساسا. نسبة قليلة فقط من الأثمال البالية، زغب القطن وبعض المواد الشعرية الأخرى مازالت تستخدم فى إنتاج لب الورق.

توجد طرق كثيرة لصناعة لب الورق من الخشب، فى أحد هذه الطرق يتم طبخ الخشب فى جهاز هضم (Digester) مع الكيماويات فى ظروف التحكم لدرجة الحرارة والضغط والوقت. الطرق المختلفة تستخدم كيماويات مختلفة أو خليط منها. فى طرق أخرى يتم إختزال الخشب إلى الحالة الشعرية بالطرق الميكانيكية فقط أو بالطرق الميكانيكية والكيماوية. الطرق المختلفة تستخدم كذلك أنواع مختلفة من الخشب الطرى أو الخشب الصلب (الناشف)، وإنتاج أنواع مختلفة من لب الورق كل منها له مميزات لمنتجات معينة. فمثلا اللب السلفيت (Sulphite Pulp) متفوق فى حالة صناعة الورق الرقيق.

العمليات الميكانيكية النقية هى بطحن الخشب حيث تدفع أطوال من الخشب ضد حجر طحن فى وجود الماء وقطع الخشب حيث يتم الطحن فى أقراص الطحن. فى عمليات ميكانيكية أخرى تسبق عملية الطحن النقع الحامضى لخفض الطاقة اللازمة. يوجد كذلك الخشب المطحون كيماويا حيث يتم نقع القطع الخشبية فى محلول سلفيت الصوديوم المخفف (Soduim Sulphite). والطحن الحجرى والصودا الكاوية حيث تنقع فى محلول الصودا الكاوية.

فى تصنيع لب الورق الكيماوى يتم طبخ قطع الخشب تحت ضغط فى محاليل كيماوية مختلفة إلى الحد الذى تذوب فيه المكونات الغير سليلوزية وتتحرر

الشعيرات بفعل قوة إندفاعها من وعاء الطبخ تحت الضغط. لاتوجد حاجة إلـــى أى طاقة ميكانيكية. عملية إنتاج لب الورق الكيميائية الأولى هـــى السـلفيت (Sulfite) (قلوى كالسيوم، أمونيا، صوديوم أو مغنسيوم). الكرافت (Craft) (صـــودا كاويـــة وسلفيد الصوديوم).

يتم إزالة الأحبار من مخلفات الورق لإعادة إستخدام ورق الصحف لصناعـــة ورق رقيق وألوانه فاتحة. تنفذ عملية التبييض فى عـــدة مراحـــل مـــن اســـتخدام الكيماويات بالصودا الكاوية والتى تشبه صناعة لب الورق كيماويا من الخشب.

نسبة كبيرة من لب الورق يتم تبييضها لإزالة اللون الطبيعـــى البنـــى وذلـــك لصناعة ألوان بيضاء أو ألوان فاتحة. تتم عملية التبيض فى مراحـــل عـــدة مـــن الاستخدامات الكيماوية والاستخلاص القلوى. الكيماويات المستخدمة تختلف طبقـــا لنوع لب الورق الأبيض. ولكن يمكن أن تشمل الكلور، هيبوكلوريت الكالســـيوم أو الصوديوم وثانى أكسيد الكلور للب الورق الكيماوى وللب الورق الميكانيكى يستخدم الهيدروســلفيت (Hydrosulfites) والبيروكســيد (Peroxides). مـــواد التبييـــض المستخدمة لإزالة الأحبار من لب الورق تتوقف على المكونات للمخلفات الورقيـــة، والمادة الخام ولكن عموما تشمل واحد أو اكثر من الســـابق. لـــب الـــورق الشـــبه كيماوى نادرا ما يتم تبييضه.

عملية التبييض تستخدم كذلك لإنتاج اللب المـــذاب (Dissolving Pulp) وهـــو السيليلوز ألفا المكون للريون (Rayon) والمفرقعات. عملية تصنيع الورق هى نفسها بصرف النظر عن اللب المستخدم أو المنتج النهائى. طبقة من الشعيرات ترسب من العالق المخفف من اللب على مصفاه رقيقة. هذه المصافى تسمح بصـــرف المـــاء وتحتفظ بطبقة الشعيرات. هذه الطبقة اللانهائية يتم ضغطها وتجفيفها فى عدد مـــن أسطوانات الضغط والتجفيف. ماكينة (Fourdrinier) التى لها سطح مكون للطبقـــة

المستوية تستخدم عادة لعمل الورق، الماكينة الأسطوانية أكثر استخداما حيث أنـــها مرتبطة بصناعة الألواح الورقية (Paperboard) نظرا لقدرتها علـــى عمـل عـدة طبقات من المسطحات الورقية. نوع الماكينة المستخدم تأثيره قليل علــــى أحمـــال الصرف الخام. المخلفات من الورق يتم تحويلها إلى شعيرات ثانية بإضافة المـــاء، الكيماويات، البخار لوحدة إنتاج اللب حيث يتم إستخلاص الشعيرات مـــن الـــورق (Defibered).

إستعادة الكيماويات من سائل الطبخ لعملية إنتاج لب الورق بالطريقة الكيماويـة تعتبر أساسية، وكذلك فى عملية الكرافق يكون ضرورى مـــن الناحيـــة الكيماويـــة بسبب إرتفاع سعر الكيماويات المستخدمة والتركيزات المطلوبة وللمحافظـــة علـــى البيئة. حرق وتبخير سائل الصرف للإستعادة فى بعض الحالات.

٢- خصائص مياه الصرف:

مياه الصرف من صناعة الورق ولب الورق تحتوى على مكونــات عضويـــة مذابة من الخشب بما فيها اللجنين والتانين والسكريات والسيليلوز. الإضافات مثـــل مواد اللصق، النشويات، الراتنجات، كيماويات الطبـــخ الغـــير عضويـــة والمـــواد الغروية. كل مياه الصرف من كل الإنتاج الميكانيكى للب الورق متشابه فى النـــوع والحجم. مكونات الملوثات تشمل مواد صلبة عالقة، ومواد عضوية مذابـــة ومـــواد غير عضوية مذابة فى حالة الطحن الكيماوى للخشب وعملية الصودا على البارد.

حجم المياه المنتجة يتراوح ما بين ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ جالون لكل طن من لـــب الورق. المواد الصلبة العالقة والحمل العضوى (BOD_5) يتراوح بالنسبة لعمليـــات إنتاج اللب الميكانيكية كالآتى:

	مواد صلبة عالقة رطل/الطن	BOD_5 رطل / طن
عملية الطحن الحجرى	١١ - ٢١	٨ - ١٩
عملية التنقية	٣٠ - ٥٩	١٨ - ٣٢
الخشب المطحون بالكيماويات	١٥ - ٣٢	٦٩ - ٨١
الصودا الباردة	٢٤ - ٣٧	٧٣ - ١٠١

مياه الصرف من عمليات السلفيت المتعادل الشبه كيمــاوى (NSSC) (Neutral Sulphite Semi Chemical) ذات حجم قليل ولكن ذات محتوى عـــالى مـــن BOD بذلك بسبب درجة التدوير العالية التى تستخدم. الأحمال من BOD هى ٥٧ رطــل / الطن عند تدفق ١٧٠٠ جالون / الطن تعتبر حالة قياسية. القيم المتوسطة مـــن ١,٣ (NSSC) الطواجين المتعرجة (Corrigating Mills) مع إستعادة السائل تكـــون ذات أحجام من السوائل المنتجة ١١٣٠٠ جالون، ٥٨ رطل من BOD، ٣٢ رطل مـــن المواد الصلبة العالقة لكل طن من لب الورق.

ماكينات السلفيت الحديثة التى تستعيد الكيماويات و/أو حرق سوائل المخلفـــات تصرف ما بين ١٥٠٠٠، ٣٠٠٠٠ جالون لكل طن من لب الورق. إجمـــالى الفقـــد يصل إلى ٨٠٠ رطل من المواد الصلبة الكلية، ٦٠ رطل من المواد الصلبة العالقة، تقريبا ٣٠٠ رطل من الحمل العضوى BOD لكل طن من لب الورق. قيمة الرقـــم الهيدروجينى تتراوح ما بين ٢,٥ إلى ٣,٢. قيمة اللون للمياه الخارجة حيث يكـــون اللجنين هو السبب إلـــى حـــد كبـــير تـــتراوح علـــى تدريـــج الكلوروبلاتينيـــت (Chloroplatinate) من ١٠٠ إلى ٧٥٠ ملجرام/لتر، القيم القليلـــة تكـــون لســـلفيت المغنسيوم القاعدى والقيم المرتفعة للأمونيوم القاعدى. إستعادة سائل السلفيت ليـــس مؤثر مثل إستعادة الكرافت بسبب الكمية الكبيرة لحامض الخليك فى ما تم تكثيفـــه

(Condensates). هذه المادة مسئولة عن الجزء الكبير من الحمل العضـــوى BOD_5 فى الصرف.

مثال الأحمال مياه الصرف من العمليات المستقلة لمعدة لب الســـلفيت شـــاملة التبيض موضح فى الجدول (١/٥).

جدول (١/٥) مثال الأحمال الصرف من عمليات السلفيت المستقلة:

مصدر العملية	الحجم جالون/طن	إجمالى المواد الصلبة رطل/طن	المواد الصلبة العالقة رطل/طن	BOD رطل / طن	COD رطل / طن	مجال الرقم الهيدروجينى
حوض الصرف	١٩٠٠	٢٤٧	١,٠	١١٦	--	٢,٢ - ٢,٩
المكثفات	١١٠٠	٤٧	٠,١	٦٦	--	٢,٣ - ٣,١
فقد السائل	٧٥٠٠	١٠٥	٢١,٠	٥٣	--	٢,٢ - ٢,٦
المصافى	٦٠٠٠	٢٧	٨,٠	٨	--	٥,٤ - ٥,٧
الغسيل وزيادة القوام	٧٥٠٠	١٣١	٨,٠	١٨	--	٢,٤ - ٣,٩
مخلفات مصنع الحامض	٣٠٠	١٠	٥,٠	مهمل	--	١,٢
صرف الغلاية	١٠٠	٢٢	٢,٠	مهمل	--	--
إجمالــى	٢٤٤٠٠	٥٨٩	٤٥,١	٢٦١	٦١٨	٢,٥ - ٣,٢
التبييض	١٢٠٠٠	٢٠٠	١٥,٠	٣٩	--	٥ - ٥,٨

الفقد فى التبييض عند إنتاج لب الســـلفيت المـذاب، يرتفـــع ســـريعا كـــالآتى (Sulphite Dissolving Pulp).

حجم المياه المنتجة	٤٥٠٠٠ إلى ٦٠٠٠٠ جالون / طن
BOD	٢٠٠ إلى ٤٥٠ رطل / الطن
المواد الصلبة العالقة	١٠٠ إلى ٢٠٠ رطل / الطن
اللون	أكبر من ٣٠٠٠ ملجرام / لتر
مجال الرقم الهيدروجينى	١ - ٣

فى المصانع الحديثة حجم المياه الخارجية من إنتاج لب ورق الكرافت يتراوح ما بين ١٠٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠ جالون / الطن من المنتج. المصدر الرئيسى لمياه الصرف هى جهاز الهضم (Digester) مكثفات البخار. الملوثات تشمل مواد صلبة عالقة، مواد عضوية مذابة، أملاح أيونية غير عضوية مذابة. كذلك تلتصق الأيونات الغير عضوية مع المركبات العضوية مثل اللجنين، الراتنجات، الأحماض الدهنية. إجمالى المواد الصلبة العالقة يتراوح ما بين ٤٠ إلى ٦٠ رطل / الطن من المنتج. متوسط الحمل العضوى BOD يتراوح من ٢٥ إلى ٥٠ رطل / الطن. الجزء من المواد العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجى هو السبب فى لون السائل الخارج من عملية الكرافت. كلا من المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى وغير القابلة للتحلل البيولوجى تسبب وجود اكسجين كيماوى مستهلك (COD) والذى يتراوح مع السلفيدات الغير عضوية من ٧٥ - ١٠٠ رطل COD / الطن. المحتوى من الأملاح الأيونية المذابة يتراوح ما بين ١٥٠٠ - ٣٠٠٠ ملجرام / لتر. الرقم الهيدروجينى ما بين ٩ - ١٠.

مياه الصرف من تبييض الكرافت موضحة فى الجدول التالى.

جدول (١/٦) حجم وخواص مخلفات التبييض للكرافت:

	حجم مياه الصرف ١٠٠٠ جالون لكل طن من المنتج	BOD رطل لكل طن من المنتج	مواد صلبة عالقة رطل لكل طن من المنتج	اللون ملجرام/لتر	الرقم الهيدروجينى
شبة تبييض	١٨ - ٢٥	٣٠-٣٥	١٥-٢٠	٢٥٠٠٠	٤-٥
تبييض عالى	٢٥-٣٥	٤٠-٦٠	٢٠-٣٠	٥٠٠٠٠	٣-٤
إذابة اللب (خشب طرى)	٥٠-٦٠	١٢٠-١٥٠	١٣٠-١٥٠	أكبر من ٥٠٠٠٠	٢-٣
إذابة اللب (خشب صلب)	٥٥-٧٠	٥٠٠-٧٠٠	١٩٠-٢٠٠	أكبر من ٥٠٠٠٠	٢-٣

مياه الصرف من مصانع الورق تتراوح ما بين ٣٣٠٠ إلى ٢٤٠٠٠ جالون/الطن من المنتج. مياه الصرف هذه عادة تحتوى على من ٨ إلى ١٢٣ رطل من المواد الصلبة العالقة ومن ١٠ إلى ٧٥ رطل BOD_5 لكل طن من المنتج.

مياه الصرف من صناعة الورق الرقيق (Fine Paper) بدون مواد الملئ (طفلة، كربونات كالسيوم... الخ). تحتوى على من ١٥٠ إلى ٥٠٠ جزء فى المليون من المواد العالقة ٩٠% منها مواد عضوية. المواد العالقة هى أساسا زغبات لب الورق. الأسطح الورقية المملوءة والمغطاه تنتج مياه صرف ذات محتوى عالى من المواد الصلبة العالقة بسبب وجود الإضافات الغير عضوية وكذلك المحتوى من BOD أعلا بسبب وجود مواد التشتت ومواد اللصق المستخدمة للمحافظة على مادة الملئ أو التغطية فى أو على الورق. المواد الغير عضوية تسبب عكارة عالية، رغم أن اللون الحقيقى منخفض وأن الرقم الهيدروجينى فى المجال المتعادل. معدل التدفق يتراوح ما بين ٧ إلى ٧٠ جالون / الطن.

فى المصانع الحديثة يستخدم التدوير وإعادة الإستخدام لمياه الصرف مع العمل على إصطياد الشعيرات المفقودة.

٣- معالجة مياه الصرف من الصناعات الورقية ولب الورق:

الإجراءات التى تتم فى المصنع لخفض أحمال مياه الصرف الخام تشمل، التدوير وإعادة الاستخدام، إجراءات إعادة واصطياد الشعيرات، منع تسرب المياه من الطلمبات، خفض إستخدام المياه النقية، خفض استخدام مياه التبريد.

المعالجة الخارجية للمواد الصلبة العالقة إستخدمت المصافى، المروقات الميكانيكية، أحواض الترسيب، الطفو بالهواء المذاب. أكثر الطرق إنتشارا هى أحواض الترسيب الميكانيكية للتنظيف ذات قطر من ٣٠ إلى ٣٥٠ قدم، معدل

التحميل السطحى من ٣٩٢ إلى ٢٠٣٠ جالون فى اليوم على القدم المربع (التصميم العادى – ٦٠٠ – ٧٠٠أ، ٣٠٠ – ٥٠٠)، زمن المكث ٤ ساعة، الأحمال الصلبة من ٢٠٠ إلى ٨٠٠ قدم مربع لكل طن من المواد الصلبة الجافة فى اليوم. التصميم الجيد والتشغيل الجيد للمروقات يزيل ٩٥% من المواد الصلبة العالقة القابلة للترسيب و٢٠ إلى ٣٠% من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5) يمكن عمل خفض إضافى فى الحمل العضوى (BOD) بالمعالجة البيولوجية بواسطة أحواض أكسدة ضخمة وأحواض تهوية. تستخدم الحمأة المنشطة والمرشحات الزلطية لدرجة أقل. معدل التحميل لأحواض الأكسدة من ٥٠ رطل أكسجين حيوى مستهلك (BOD) / الهكتار / اليوم يحقق نسبة إزالة ٨٥ – ٩٠% فى الأجواء الحارة.

أحواض التثبيت الهواء تستخدم ٢ هكتار / مليون جالون / اليوم، زمن مكثف من ٥ إلى ٥١ يوم، وهى تنتج ٠,١ إلى ٠,٢ رطل من الحمأة لكل رطل من الحمل العضوى (BOD) المزال، ويتطلب إضافة النيتروجين (وأحيانا الفوسفور)، ويستخدم أجهزة تهوية تربينيه، طلمبات تهوية ذات التدفق المحورى، أو التهوية بالبثق، وتعمل عند ٥٠ – ٢٠٠ ملجرام / لتر من السائل المخلوط بالمواد الصلبة العالقة (MLSS). كما استخدمت محطات المعالجة بالحمأة المنشطة لمعالجة مياه الصرف من لب الورق بتحميل من ١٥ إلى ١٥٠ رطل من الأكسجين الحيوى / ١٠٠٠ قدم مكعب وزمن مكث من ٢,٥ – ٨,٥ ساعة مع إضافات من المواد النيتروجينية والمواد الفوسفورية. وقد أوصى بأن أفضل تحميل هو من ٠,٢ إلى ٠,٧ رطل اكسجين حيوى للسائل المخلوط بالمواد الصلبة العالقة (MLSS). تراكم الحمأة اللازم إزالتها هو رطل / كل رطل من الأكسجين الحيوى المستهلك المزال. من المشاكل الكبيرة عملية تخفيف الحمأة من الماء والتخلص منها حيث يمكن أن تكون أكثر تكلفة من المعالجة نفسها.

عمليات التخلص الأخرى التى استخدمت فيها مياه الصرف للورق ولب الورق بدرجات متفاوته من النجاح هى فى تحسين التربة والرى وصرف المخلفات علـــى الأرض وإزالة اللون باستخدام ترسيب الجير، الكربون النشط، الشبه.

وقد أوصت (EPA) أن أفضل التكنولوجيات المتاحة هى التحكم الداخلـــى فـــى خفض الملوثات بالإضافة إلى خفض المواد الصلبة العالقة باســـتخدام المصـــافى، أحواض الترسيب الأرضية، الترويق الميكانيكى وإزالة الحمـــأة، الطفـــو بالـــهواء المذاب. (معظم مياه الصرف من صناعة الورق ولب الورق تحتوى على قليـــل أو لا يوجد النيتروجين أو الفوسفور).

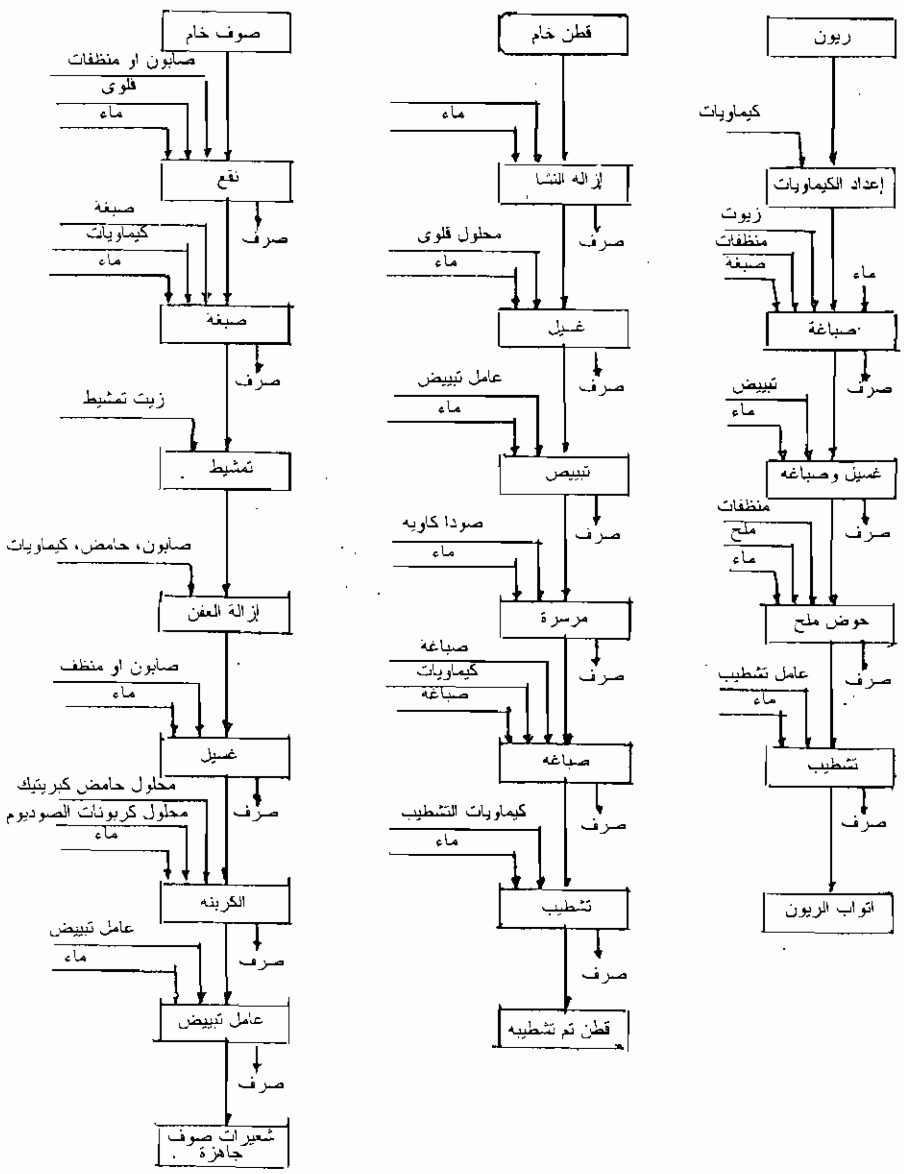
خامساً الصرف الصناعى من صناعة المنسوجات

١- صناعة المنسوجات تستخدم كميات كبيرة من المياه حوالى ٩٠% منها فى عمليات الغسيل والتنظيف والصقل والصباغة والطباعة والتبييض والتشطيب للمنتج. كل هذه العمليات تنتج مياه صرف والتى تحتاج إلى المعالجة.

توجد ثلاث أنواع رئيسية فى صناعة المنسوجات وهى الصوف والقطن والخيوط الصناعية والتى تنقسم إلى السيليلوزية والغير سليلوزية. خطوات التصنيع المستخدمة لإنتاج مختلف المنسوجات متشابهة بالنسبة لخيوط الغزل ولكن أحمال التلوث مختلفة. شكل (٣/٨).

أ- الصوف الخام:

الصوف الخام يحتوى على كميات كبيرة من الأوساخ والأعشاب وشمع الصوف والعرق. يتم أولا تنظيف الصوف بغسيله بالصابون أو بالمنظفات الصناعية بمياه ساخنة. يتم الغسيل بالتمرير المعاكس فى عدد من الأحواض. المواد الغير مذابة تتجمع فى قواديس مركبة فى الأحواض، مياه الغسيل المحتوية على ٢٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ ملجرام / لتر من الحمل العضوى BOD وحتى ٢٨٠٠٠ ملجرام / لتر من الشحوم إلى معالجة مياه الصرف. بعد الغسيل يمكن صباغة الصوف أو غزله ونسجه ثم بعد ذلك صباغته. محلول الصباغة ومياه غسيل عملية الصباغة يتم التخلص منها كمياه صرف. المصدر الرئيسى للحمل العضوى هو عامل الحمل (Carrier Agent). عوامل التلوث فى مياه الصرف هى كذلك الألوان، المواد الصلبة المذابة، الكروم سداسى التكافؤ. يتم بعد ذلك معالجة الصوف ميكانيكيا فى حوض من الماء والمنظفات، يتم الغسيل بالمنظفات ثم التخلص من مياه الغسيل. فى بعض العمليات يتم نقع الصوف فى محلول مخفف من حامض الكبريتيك ثم العصر للتجفيف ثم التسخين لكربنة المواد النباتية. يتم التخلص من صرف حامض الكبريتيك على مراحل، وهو مياه الصرف الوحيدة من هذه الخطوة. الخطوة الأخيرة عند الحاجة إليها هى التبييض باستخدام ثانى اكسيد الهيدروجين أو هيبوكلوريت الصوديوم، مجال التبييض ومياه الغسيل تشكل كل مياه الصرف.



شكل (٣/٨) مخطط لصناعة المنسوجات

ب- القطن:

بعد إستقبال القطن من المحلج حيث يكون عادة مغطى بالنشا والغـــراء، يتــم التعامل معه لإزالة النشا أو الغراء فى حوض حامض أو مادة كيماوية. يتم بعد ذلك غسيل القطن بالماء وعامل قلوى لإزالة المواد الشمعية الطبيعية يتم التخلص مـــن المياه المستخدمة. بعد الغزل يتم التبييض بهيبوكلوريت الصوديوم أو بواسطة ثـانى أكسيد الهيدروجين ثم التخلص من المياه المستخدمة (يتم بعد ذلك الصباغة والغسيل والتغطية بطبقة محلول راتنجى للتشطيب). فـــى حالـــة الرغبـــة فـــى المرســـرة (Mercerized) (والتى تتم لزيادة امتصاص القطن للصبغة وتقويته) يتم النقـــع فـــى محلول صودا كاوية مركزه. تتم بعد ذلك الصباغة والغســيل والتغطيـــة بمحلـــول شمعى للتشطيب. مخلفات مياه المرسرة والصباغة والتشطيب ومختلف مياه الغسـيل تضيف إلى الحمل الكلى للمخلفات.

جـ- الريون: Rayon

يتم تصنيع الريون خلال عمليات الغسيل والصقل والصباغة فى حوض يحتوى على زيوت ومنظفات وصبغات. فى بعض المراحل يتم تبييض الغزل فى حـــوض يحتوى على ملح، منظفات صناعية وماء. يتم بعد ذلك التشطيب بطريقة تشبه تلـــك المستخدمة فى القطن. مياه الصرف من تصنيع الريون تشمل مياه صرف حمامـــات الغسيل والصبغة والتبييض وحمام الملح ومحلول التشطيب.

يتم غسيل النسيج بالمنظفات والمـــاء ثـــم الصباغـــة أو التبييـــض باســـتخدام هيبوكلوريت الصوديوم أو ثانى أكسيد الهيدروجين. يتم غسيل النسيج ثانيا، التسخين لجفاف النسيج، التشطيب بالكيماويات. مياه الصرف تشمل مياه الصرف من الغسيل والتبييض والصباغة والتشطيب وكذلك مختلف استخدامات المياه.

د- خواص مياه الصرف:

مياه الصرف من صناعة خيوط النسيج متشابهة. خطوات التصنيع لمختلف الخيوط متشابهة ولكنها تختلف فى خواص مياه الصرف. مياه الصوف يمكن أن تحتوى على كميات عالية من المواد الصلبة المذابة وكذلك أحمال مرتفعة من الشحوم ومواد شعرية وأملاح غير معدنية وكيماويات عضوية والتى عادة ما تكون سامة أو غير قابلة للتحلل البيولوجى ومعادن ثقيلة. العمليات المستقلة المختلفة تؤدى إلى الصرف على مراحل (Batch) والذى يسبب تغيرات كبيرة فى الأحمال الهيدروليكية وأحمال التلوث. بعض أنواع الملوثات كما فى الجدول التالى.

جدول (١/٧) الشكل العام لمياه الصرف فى صناعة المنسوجات

لكل ١٠٠٠ رطل من النسيج بعد التشطيب

	الحمل العضوى BOD بالرطل	مواد صلبة عالقة بالرطل	مواد صلبة مذابة بالرطل	الحجم بالجالون
١- مخلفات الصوف				
مياه الغسيل والصقل	٣٣٠			٣٣٠
الصباغة	١٩			٣١٠٠
الغسيل	٣٦٠			٤٤٣٠٠
الكربنة	٢			١٦٥٠٠
الإجمالى	٧١١			٦٧٢٠٠
٢- مخلفات القط				
إزالة الغراء	١١٩	٦٢	١٠٥	٥٥٠٠
الغسيل والصقل	١٠٥	٤٧	١٣٠	٩٥٠٠
التبييض	١٥	١٠	٧٥	٩٥٠٠
المرسرة	١٠	٣	٤٥	١٩٠٠
الصباغة	٦١	٢٥	٧٥	٤٠٠٠٠
الإجمالى	٣٢٥	١٥١	٤٥٠	٨٧٥٠٠
٣- مخلفات المنسوجات الصناعية				
الغسيل والصقل	١٥-٩٠	٥-٥٠	١٥-٥٠	٣٠٠٠-٨٠٠٠
الصقل والطباعة	٤٠-٧٠	صفر - ٣	٢٥-٤٠	٢٠٠٠-٦٠٠٠
الصباغة	٢-٨٠٠	١-٤٠	٢-٢٠٠	٢٠٠٠-٤٠٠٠
حمام ملحى	صفر - ٣	--	٢٠-٢٠٠	٥٠٠-١٥٠٠
الصقل النهائى	١٥-٢٥	٢-٧	٤-٢٠	٢٠٠٠-١٠٠٠٠
التشطيب الخاص	٢-٨٠	٣-٥٠	٣-١٠٠	٥٠٠-٧٠٠٠
الإجمالى	٢٠-٢٥٠	٢٠-١٦٠	٢٠-٦٠٠	٣٠٠٠-٢٩٠٠٠

هـ - معالجة مياه الصرف:

إستعادة شحوم الصوف يتم بإضافة حامض الـــى شــحنة الصــرف لتكســير المستحلب وتحرير الشحوم. بعد استخلاص الشحوم بالطرد المركزى يتم التخلــص من المجال المائى أو إستعادة الشحوم بعملية التبخير.

تستخدم المصافى لإزالة المواد من الشعيرات، هذه المصافى يمكن أن تكـــون دوارة أو ثابتة أو من النوع الهزاز.

تجهيزات الترسيب تشمل أحواض ترسيب، حيث يضاف البولـــى اليكـــتروليت لتسهيل فصل المواد الصلبة العالقة. تستخدم كذلك وحدات الطفو بالــــهواء لإزالـــة المواد الصلبة العالقة، عادة بالتوازى مع البولى اليكتروليت أو بعد عملية الــترويب. الفصل الهوائى يزيل المواد الصلبة، الزيوت، الشحوم، الشعيرات ولكنه لايؤثر على المواد المذابة مثل الصبغات.

عملية الطرد المركزى والترشيح هى عمليات قياسية تستخدم لإزالة واســـتعادة المواد الصلبة من مياه صرف الصناعات النسيجية. عادة تضاف مواد كيماوية مثـــل كبريتات الحديدوز، الجير المطفى أو الشبه، إلى ميـــاه الصـــرف لعمليـــة تكويـــن الزغبات صغيرة الحجم وترويبها وكذلك المواد الغروية إلى حبيبات كبيرة لتحســين فصل المواد الصلبة العالقة.

الترسيب الكيماوى يتم فى أحواض الترسيب (Lagoons) تضاف الكيماويـــــات إلى مياه الصرف لترسيب المواد الصلبة المذابة والتى ترسب فى الحوض.

أحيانا تكون مياه الصرف من صناعة المنسوجات قلوية وذلك رغـــم وجـــود بعض تدفقات مياه صرف حامضية. لذلك يكون من الضـــرورى إجـــراء عمليـــة

التعادل بإضافة مواد حامضية أو مواد قلوية لحماية طرق المعالجة التالية ولتتطابق مع معايير الصرف.

عملية التسوية (Equalization) هى كذلك ضرورية لتسوية الأحمال الهيدروليكية والأحمال العضوية.

استخدام إدمصاص الكربون لإزالة اللون. عادة يتم بتمرير مياه الصرف خلال طبقة متحركة فى عدة إتجاهات متعاكسة.

الاكسدة البيولوجية هى عادة آخر مراحل المعالجة. المعالجة البيولوجية يمكن أن تتم فى المصنع وعادة يتم صرف المياه إلى شبكة الصرف الصحى. فى حالة المعالجة البيولوجية يمكن استخدام الحمأة المنشطة والمرشحات الزلطية، أحواض الأكسدة، الأحواض المهواة. تستخدم الأكسدة الكيماوية مع الهواء، الكلور، أو ثانى أكسيد الهيدروجين لإزالة بعض الصبغات ولقتل مختلف الكائنات البيولوجية، لقد أوصت (EPA) أن صناعة النسيج يمكن أن تحقق المعايير المطلوبة بتوفير المعالجة الأولية والثنائية لمعالجة مياه الصرف. كما أوصت أنه يمكن أن يكون الصرف صفر وذلك بخفض كمية المياه المستخدمة خلال التدوير واستخدام المعالجة البيولوجية والترويق لإزالة المواد الصلبة العالقة والتناضح العكسى. هذه المعالجات يجب أن يليها تبخير ثلاثى المراحل للمحاليل المركزة إلى مياه مكثفة مناسبة للتدوير وإعادة الاستخدام وراسب صلب متبقى مناسب للتخلص منه.

سادساً معالجة مياه الصرف من دباغة الجلود (Tanning)

١- الدباغة هى عملية تحويل جلد الحيوان إلى جلود مصنعة وذلك بمعالجة الشعيرات البروتينية بمواد مثل أملاح الكروم أو كبريتات الألومنيوم (الشبة) أو التانين (Tannin). تشمل الدباغة جلود الحيوانات الآتية: جلود الماشية والأغنام والجاموس والبقر والجمال والخيل والأرانب، التماسيح.

عملية الدباغة لجلد الماشية تتم فى غرفة الدعامة الخشبية، غرفة الدباغة، إعادة الدباغة، اللون، السائل الدهنى، التشطيب.

عملية دباغة جلد الخراف تتكون من غرفة الدباغة وإعادة الدباغة واللون وسائل دهنى والتشطيب.

دباغة جلد الماشية:

الجلود الطازجة يتم تهذيبها وفرزها وتصنيفها ثم معالجتها (Cnring) بإضافة الملح والتخزين لمدة ١٠-٣٠ يوم. الجلود المعالجة بالملح يتم إعدادها فى غرفة المعالجة بتقليب الجلود الطازجة فى محلول ملحى مركز لمدة ٢ - ٣ يوم ثم الصرف. فى المدبغة يتم تهذيب الجلود، ترتيبها أو شطرها إلى نصفين ثم الغسيل والنقع والصقل ونزع اللحوم وإزالة الشعر فى مستحلب من الجير مع إضافات مثل سلفيد الصوديوم (Soduim Sulfide) أو (Sulfhydrate) ثم نزع الشعر بالطرق الميكانيكية أو بالحرق أو بالإذابة.

قسم الدباغة (Tanhouse)

يتم تخفيض الجلد فى محلول أملاح الأمونيا والأنزيمات لإزالة الجير وخفض الانتفاخ ولتحويل الشعيرات إلى مادة غروية (Peptize Fibers) وإزالة نواتج

التحلل للبروتين ثم يتم الغمر فى مياه مالحة وحامض ثم الدباغة فى أحماض التنين النباتية. (Vegetable Tannins). أو فى خليط مناسب من كبريتات الكروم أو الشبه ثم الفصل للحصول على الجزء من الجانب الخارجى الذى عليه الشعر من جلد الحيوان حيث يتم التصنيع منفصلا.

عمليات إعادة الدباغة، اللون، السائل الدهنى:

إعادة الدباغة توفر صفات خاصة لتشطيب الجلد خلال إستخدام الكروم والنباتات وعوامل الدباغة المختلفة. هذه الجلود يمكن أن يتم تبييضها وتلوينها كما تضاف السوائل الدهنية (تضاف الزيوت لتحقيق المرونة والطى).

خواص مياه الصرف:

المواد التى تظهر فى مياه صرف دباغة الجلود تشمل الشعر، قطع جلدية، قطع من لحم الحيوان، دماء، روث، أوساخ، أملاح، جير، بروتين مذاب، سلفيدات، أمينات، أحماض التنين، الصودا آشن، سكريات ومواد نشوية، وزيوت (شحوم ودهون)، مواد النشاط السطحى، أحماض معدنية، مواد صبغات، مذيبات.

المعايير المستخدمة لتعريف مياه الصرف تشمل الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5)، الأكسجين الكيماوى المستهلك (COD)، الأملاح الصلبة المذابة، الأملاح الصلبة العالقة، النيتروجين الكلى، الكروم، الزيوت والشحوم، السلفيد، القلوية الكلية، الرقم الهيدروجينى.

جدول (١/٨) خواص مياه الصرف من عمليات دباغة الجلود على أساس ٥٠٠ جلد فى اليوم كل جلد وزنه ٦٠ رطل كالآتى:

عمليات التصنيع	أكسجين حيوى مستهلك BOD رطل / اليوم	مواد صلبة عالقة رطل/اليوم	مواد صلبة مذابة رطل/اليوم	حجم مياه الصرف مليون جالون/اليوم
الغسيل والصقل	٣٧٠	١٣٤٠	٣١٨٠	٠,٠٩٧
إزالة الشعر	١٨٣٠	٥١٦٠	٥٧٠٠	٠,١١٢
التطرية	٢١٠	٥٠	٤٢٠	٠,٠٣٢
التحليل (Pickling)	--	--	٤٢٠	٠,٠١٦
الدباغة (بالكروم أو بالنباتات)	١٥٠	٢٠٠	٩٠٠	٠,٠٢
التشطيب	٥٠	٥٠	١٠٠	٠,٠١٥
الإجمالى	٢٦٧٠	٦٨٠٠	١٠٧٢٠	٠,٢٩٢

<u>معالجة مياه الصرف:</u>

طرق خفض مياه الصرف لعمليات الدباغة تشمل الاقتصاد فى استخدامات المياه وإستعادة استخدام المحاليل ومعالجة مكونات معينة فى مياه الصرف.

مخلفات الصرف لدباغة الجلود تتم لها المعالجة المسبقة لتحقيق توافقها للصرف فى شبكة الصرف الصحى والمعالجة فى محطات الصرف الصحى.

عمليات المعالجة المسبقة تتكون من واحد أو أكثر من عمليات متعددة أو أن تشمل جميع العمليات. وهذه العمليات هى استخدام المصافى، التسوية، (Equalization) والترسيب الحر، الترسيب باستخدام مواد الترويب مثل الشبه والجير وأملاح الحديد والبلمرات والكرنبة وكذلك ضبط الرقم الهيدروجينى والتخلص من الحمأة.

استخدام المصافى الدقيقة يزيل الأجسام الدقيقة من الشعر، الصوف، اللحم، قطع الجلود الصغيرة الناتجة عن التهذيب. تسوية التدفقات وضبط الرقم الهيدروجينى يتطلب عادة زمن مكث أقل من يوم واحد.

الترسيب الحر يقلل تركيز المواد الصلبة العالقة بنسبة من ٤٠-٩٠%، الاكسجين الحيوى المستهلك بنسبة ٣٠-٦٠%، الكروم الكلى بنسبة ٥٣%، القلوية الكليه (مقيمة ككربونات كالسيوم) بحوالى ٢٧%، الدهون بنسبة ٩٠%. المعالجة الكيماوية يمكن أن تؤثر على إزالة المواد الصلبة العالقة من ٥٠% إلى أكثر من ٩٠%، إزالة السلفيد والكروم بنسبة حتى ٩٠%، إزالة اللون بنسبة ٩٣% إلى ٩٩%.

تستخدم الكرنبة لمعالجة مياه الصرف القلوية ويمكن أن توفر إزالة للمواد الصلبة بنسبة ٩٥%، ٨٤% للاكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5) وإزالة القلوية الزائدة.

تداول الحمأة والتخلص منها يشمل أحواض الحمأة، حفر دفن المخلفات، الانتشار على سطح الأرض.

المعالجة الثنائية (البيولوجية) المستخدمة لمعالجة مياه الصرف الصناعية الدباغة للجلود تشمل المرشحات الزلطية حيث تزيل من ٨٠-٩٥% من الأكسجين الحيوى المستهلك أما أحواض التهوية فإنه يمكنها إزالة ٩٢% من الحمل العضوى (BOD)، ٦٤% من الحمل العضوى (COD) الاكسجين الكيماوى المستهلك، ٧٥% من النيتروجين، تحقيق التدمير (التحلل) الكامل للكبريتيد بأحمال ٤,٥ رطل (BOD) / ١٠٠ قدم مكعب / اليوم.

نظام الأحواض اللاهوائية يحقق إزالة ٨٧% من (BOD)، ٧٤% من المواد الصلبة العالقة، ٦٨% من (COD)، ٢٤% من السلفيد، ٣٣% من النيتروجين الكلى.

محطات المعالجة بالحمأة المنشطة التى تعالج مياه الصرف من دباغة الجلـــود هى مصدر إزعـــاج يسبب مصاعب التشغيل، كمـــا أن التشـــغيل المثـــالى لـــهذه المحطات غير ممكن بهذه النوعية من مياه الصرف.

مثال: مصنع ينتج مليون جالون فى اليوم من مياه الصرف يحتاج إلـــى الآتـــى: ٢ مروق كل بقطر ٣٥ قدم مع كاشط سطحى. نسبة التحميـــل الســـطحى ٤٦٠ جالون فى اليوم/القدم المربع. أربع أحواض من الخرسانة كل حـــوض بســـعة مليون جالون وبكل جهاز تهوية قوة ٣٠ حصان لكل حوض، الحمـــأه العـــائدة لكل حوض وللمروق الأولى والترسيب النهائى فى مروقين كل بقطر ٤٠ قدم. ثم الكلوره والصرف إلى مسطح مائى قريب، لقد أوصـــت (EPA) (الوكالـــة الدولية لحماية البيئة) أن أفضل تكنولوجيا عملية متاحة هى المعالجة المســـبقة وذلك بالمحافظة على استخدام المياه والتدوير لمحاليل الدباغة، تجميع وأكســـدة السلفيد، المصافى الدقيقة، التسوية، الترسيب الأولى لإزالة الزيوت والشـــحوم وترسيب الكروم، ضبط الرقم الهيدروجينى، تداول الحمـــأة والتخلـــص منـــها باستخدام التكثيف. التكثيف بالمعالجة الكيماوية، سحب المياه، الردم الصحـــى للتخلص النهائى. المعالجة الكاملة فى الموقع تستخدم كل ماسبق بالإضافة إلـــى التهوية والترسيب النهائى، الترشيح بالطبقة العميقة ذات الوسط الترشيحى مـــن المواد المختلطة، الكلورة والصرف الى المسطح المائى.

دلائل عام ١٩٨٣ لأفضل تكنولوجيا إقتصاديـــة أضـــافت التهويـــة لنترجـــة (Nitrify) المواد العضوية ونيتروجين الأمونيا، الترسيب، الخلـــط مـــع الكربـــون المنشط لإزالة النيتروجين (Denitrification)، التهوية للمساعدة فـــى إزالـــة غـــاز النيتروجين ثم أحواض الترسيب النهائى.

سابعاً مياه صرف الصناعات الدوائية

تحتوى الصناعات الدوائية عادة على المواد الغذائية (الفيتامينات) بالإضافة إلى مخلفات عضوية من عمليات التخمير (Fermentation)، بقايات المذيبات، عوامل عدم حدوث الرغاوى، ومركبات عضوية ذات درجات مختلفة من القابلية للتحليل البيولوجى وكذلك ذات درجات مختلفة من السمية بالإضافة إلى مياه الصرف. المخلفات الناتجة عن إنتاج البنسلين والاستربتوميسين والمنتجات الدوائية الأخرى بها نسبة عالية من المواد العضوية العالقة والمذابة كما أن بها حمل عضوى عالى (BOD). عند صرف هذه المخلفات على المجارى المائية فإنها تسبب المذاق السيئ والعكارة وتعمل على خفض الأكسجين المذاب. وهذه المخلفات يمكن معالجتها مع مياه الصرف الصحى. وفى حالة عدم إمكان هذه المعالجة المشتركة فإنه يتم أولا المعالجة بالتهوية يلى ذلك المعالجة البيولوجية باستخدام المرشحات البيولوجية. يفضل معالجة مياه الصرف من الصناعات الدوائية فى برك الأكسدة (Oxidation Ditches)، وذلك لأن عملية التهوية هى أفضل وسيلة للمعالجة. طريقة برك الأكسدة تقلل من المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف وكذلك الحمل العضوى إلى ٣٠٠ ملجرام / لتر بما يمكن من صرف مياه الصرف هذه فى شبكة الصرف الصحى. فى بعض الحالات تستخدم المرشحات الزلطية لمعالجة مياه صرف الصناعات الدوائية.

ثامناً مياه الصرف من الصناعات الغذائية

١- اللحوم والأسماك والطيور:

أ- خواص مياه الصرف:

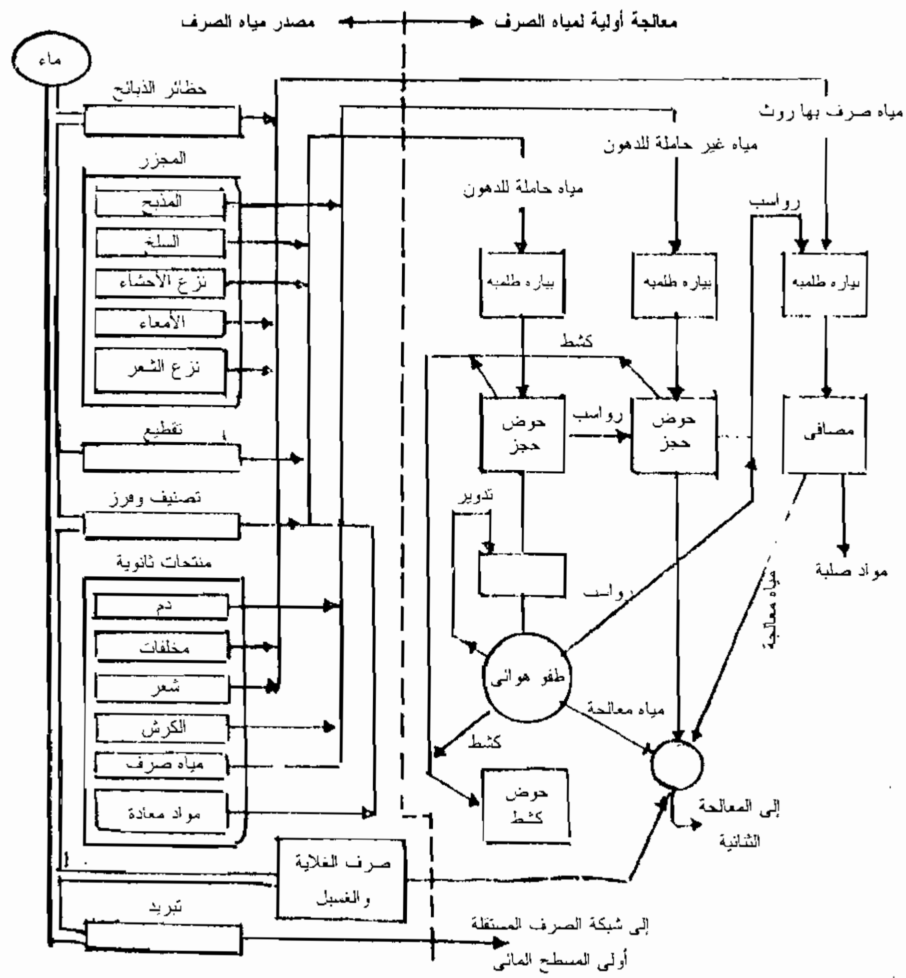
تستخدم المياه فى تصنيع اللحوم للنظافة للمنتجات والتخلص من المخلفات. الشكل (٣/٩) يوضح مصادر مياه الصرف لمصنع تصنيع وتعبئة اللحوم. مياه الصرف تحتوى على دماء، أنسجة حيوانية ودهون، مخلفات الأمعاء، روث، تبن، شعر، قاذورات، مياه المكثف والفقد من محاليل التجهيز والغسيل والمنظفات القلوية. مياه الصرف الخام تتصف عموما بالمعايير التالية:

التدفق، الحمل العضوى البيولوجي والكيماوى (COB, BOD)، المواد الصلبة العالقة، المواد الصلبة المذابة، دهون، نيتروجين الأمونيا، النترات، النيتريت، الفوسفور، الكلوريد. عموما الملوثات الخطرة السامة مثل المعادن الثقيلة والمبيدات ليس لها وجود فى صناعة وتعبئة اللحوم.

ب- تقنيات المعالجة:

الحظائر الصغيرة لحجز الذبائح لمدة لاتقل عن يوم بدون غذاء مع توفير مياه الشرب يجب أن تكون جافة مع نظافة قليلة بالماء مع توفير مجارى خاصة وحفر لجمع الروث. روث والمخلفات من الأمعاء والمعدة يمكن استخدامها كسماد طبيعى. مياه الصرف يمكن كذلك استخدامها فى الأراضى أو عمل معالجة ثنائية لها.

دماء الذبائح لايتم صرفها فى شبكات الصرف حيث تجمع ويتم تصنيعها. المياه المستخدمة فى النظافة وباقى الاستخدام يتم الإقلال منها ما أمكن.



شكل (٣/٩) المعالجة المنفصلة لمياه الصرف المحتوية على دهون وغير المحتوية على دهون والمحتوية على روث

المعالجة الأولية تتكون من تسوية التدفقات، المصافى لإزالة الروث، الشعر، باقى المخلفات، أحواض حجز لإستعادة الشحوم (٥٠ - ٦٠% إزالة للشحوم، ٣٠% حمل عضوى، ٤٠ - ٥٠% مواد صلبة عالقة)، الطفو بالهواء المذاب (٦٠% إزالة للمواد الصلبة العالقة، ٩٠% بإضافة الكيماويات، ٨٠-٩٠% شحوم). المعالجة الثنائية السائدة فى معالجة مياه الصرف من صناعة وتعبئة اللحوم هى المعالجة البيولوجية اللاهوائية فى الأحواض اللاهوائية. وهذه تعتبر إقتصادية ولاتتطلب طاقة كبيرة. يمكن خفض الحمل العضوى إلى ٩٧%، ٩٥% من المواد الصلبة العالقة باستخدام الأحواض اللاهوائية مع معدل ١٥ - ٢٠ رطل BOD / ١٠٠٠ قدم مكعب، زمن مكث ٥-١٠ يوم. نظام الإلتصاق اللاهوائى (Anaerobic Contact System) يتكون من أحواض تسوية، مفاعلات هضم وخلط، وحدات تجريد بالهواء أو بالغاز وأحواض ترسيب. يحدث خفض فى الحمل العضوى (BOD) بنسبة ٩٧% درجة حرارة ٣٢ - ٣٥°م ومعدل تحميل ٠.١٥-٠,٢ رطل / القدم المكعب وزمن مكثف ٢-١٢ ساعة.

إستخدام الأحواض المهواه: إستخدم فيها أجهزة تهوية تربينية مثبتة، أجهزة تهوية طافية، أجهزة بثق الهواء. هذه الأحواض تكون بعمق ٨-١٥ قدم وزمن المكث ٢-١٠ يوم. هذه الأحواض ذات التهوية الصناعية تليها أحواض مهواه تهوية طبيعية لإزالة المواد الصلبة العالقة وتوفير معالجة إضافية.

الأحواض المهواه ذات عمق ضحل (٣-٨ قدم عمق) التحميل ٢٠-٥٠ رطل BOD / الهكتار / اليوم وزمن المكث من ١-٧ شهر.

بالنسبة لإستخدام المرشحات البيولوجية، الحمأة المنشطة، الملامسات البيولوجية الدوارة فإستخدامها محدود نظراً لصدمات التحميل.

ولقد أوصت وكالة البيئة الدولية (EPA) بأهمية حجز المواد الصلبة والدهون يلى ذلك المعالجة البيولوجية لمياه الصرف. كما تم تطوير نظام المعالجة (عام ١٩٨٣) بإضافة الطفو بالهواء المذاب مع ضبط الرقم الهيدروجينى والترويب الكيماوى. ثم المعالجة الثنائية بإزالة مركبات النيتروجين، المرشحات الرملية. بعد المعالجة المناسبة يمكن الصرف على الأراضى.

٢- صناعة منتجات الألبان:

أ- خواص مياه الصرف:

أهم خواص مياه الصرف من صناعة منتجات الألبان هى: الأكسجين الحيوى (BOD)، الأكسجين الكيماوى (COD) المطلوب، المواد الصلبة العالقة، الرقم الهيدروجينى. الخواص الأخرى ذات الأهمية الأقل تشمل درجة الحرارة، الفوسفور، الكلوريدات، النيتروجين.

يتراوح الحمل العضوى فى مياه الصرف ما بين ١٠٠٠ - ٤٠٠٠ ملجرام/لتر، المواد الصلبة العالقة حوالى ٢٠٠٠ ملجرام/لتر، الرقم الهيدروجينى من ٦-٩ درجة الحرارة ما بين ٧,٨ إلى ٣٧,٨م، الفوسفور يتراوح ما بين ١٢- ٢١٠ ملجرام/ لتر (بمتوسط ٤٠ ملجرام/لتر)، الكلوريد من ٤٦ - ١٩٣٠ ملجرام/لتر (بمتوسط ٤٨٢ مجلرام/لتر)، النيتروجين من ١-١٣٢ ملجرام/لتر (بمتوسط ٥,٤ ملجرام/لتر).

ب- تقنيات المعالجة:

يعتبر تحسين الأداء داخل المصنع من الناحية الهندسية بالنسبة لإستخدام مصادر المياه، المخلفات. يعتبر شرش اللبن (الذى يفصل عند صنع الجبن) (Whey) هو التحدى الرئيسى فى صناعة الألبان. حاليا يتم تجفيفه أو تكثيفه على

نخاله لتغذية الحيوانات، يستخدم كمصدر للبروتين فى غذاء الحيوانات الآليفة، كما يستخدم فى تجميد الفاكهة. بإستثناء شرش اللبن فإن مخلفات صناعة الألبان قابلة للمعالجة البيولوجية. ثلاث نماذج لنظم المعالجة موضحة فى الشكل (٣/١٠) وهى الحمأة المنشطة، المرشحات البيولوجية، الأحواض الهواه. طرق معالجة أخرى تشمل أحواض التثبيت، استخدامها فى الرى، المعالجة اللاهوائية (خزانات ترشيح).

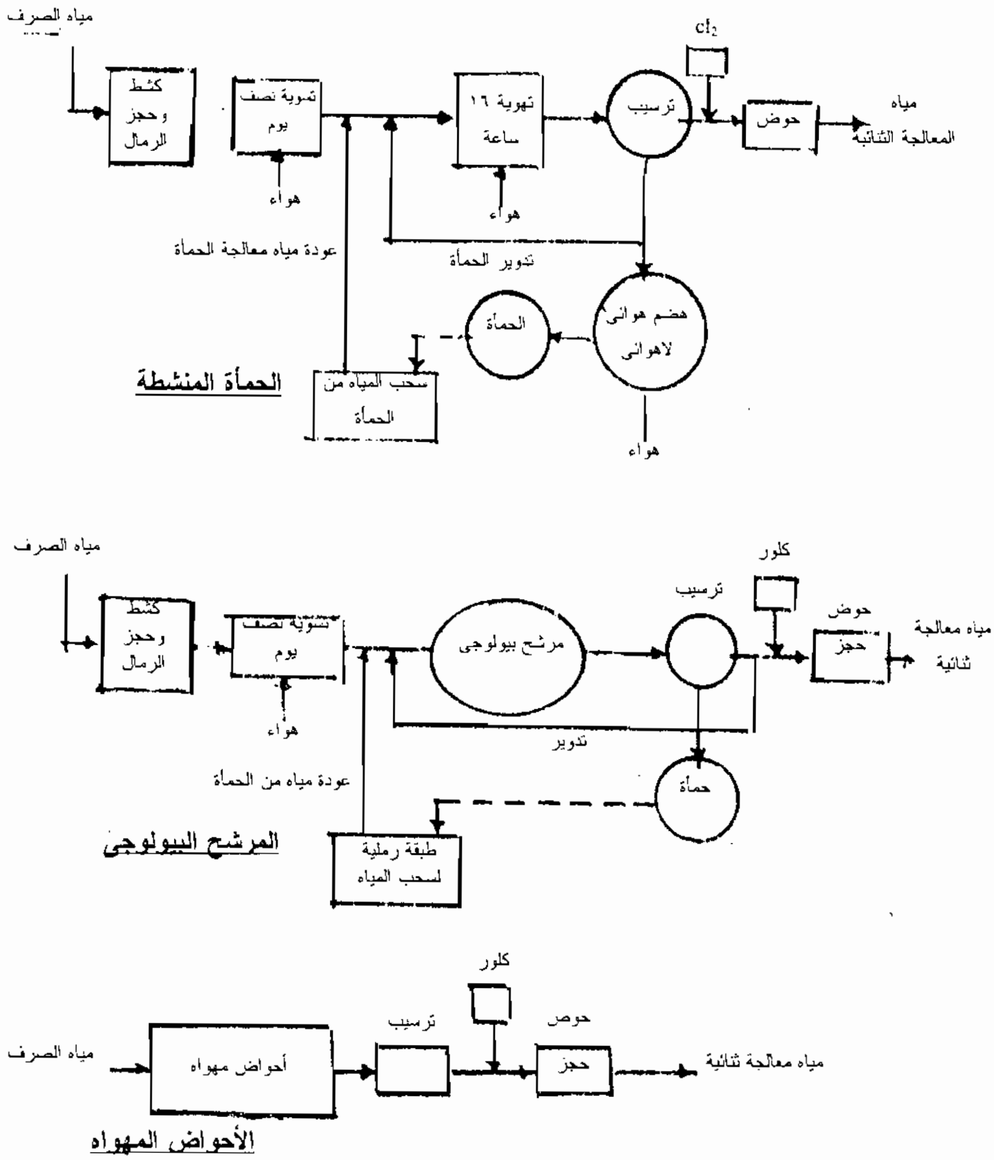
لقد أوصت (EPA) أن أفضل طرق المعالجة هو التحكم فى خفض الملوثات وخفض استهلاك المياه داخل المصنع ثم المعالجة البيولوجية وعند توفر مساحات من الأراضى تستخدم فى الرى.

٣- صناعة حفظ وتجميد الأغذية: (Canning and Frozen Foods)

تشمل صناعة حفظ المواد الغذائية عمليات التجفيف أو التجميد أو الطبخ للفاكهة والخضروات. تعتمد عمليات الحفظ على نوع المادة الخام والشكل النهائى للمنتج. ولكن فإن معظم العمليات المنتجة لمياه الصرف متشابهة.

أ- خواص مياه الصرف:

تستخدم كميات ضخمة من المياه فى عمليات تصنيع وحفظ المواد الغذائية وتستخدم المياه لغسيل الثمار وكذلك كوسط إنتقال حرارى فى عمليات التسخين والتبريد وكمذيب لإزالة المواد غير المرغوب فيها من المنتج، كحامل لإضافة مواد إلى المنتج وكعامل نقل لنقل وتداول المواد الخام والمنتجات. تتميز مياه الصرف من الصناعات الغذاء بخلوها من الملوثات الخطرة والسامة.



شكل (٣/١٠) نظم المعالجة لمياه الصرف من صناعة منتجات الألبان

الجدول (١/٩) يوضح قيم الملوثات فى مياه صرف بعض المنتجات

	تفاح	موالح	بطاطس
الرقم الهيدروجينى	٦,٦ – ١١,٢	٧,١	٠,٣
القلوية ملجرام/لتر ($CaCo_3$)	١٤٠ – ٩٣٢	٢٣٦	٨٧٣
نيتروجين كلى ملجرام/لتر	٣,٨٨	٢٠,٨	٥,٥
فوسفور كلى ملجرام/لتر	٠,٦٣	٢,٠	٤,٣
المواد الصلبة الكلية ملجرام/لتر	--	٣٠٨,٣	٤٢٢٧
المواد الصلبة المذابة ملجرام/لتر	١٣٢٧	٢٧٥١	٤٢٢٧
الكوليفورم الكلى فى ١٠٠سم^{٣}	٣ – ٢٤٠٠	--	--
درجة الحرارة	١٩	٢٨	٢٥
المبيدات ملجرام/لتر	٠,١٩	٨,٦٩	٠,٥٣

ب- عمليات المعالجة لمياه الصرف:

تشمل عملية التحكم والتداول لصناعة المنتجات الغذائية تنظيم الأداء بما يقلل من إستهلاك المياه الخام وخفض الملوثات. مثل تدوير مياه الغسيل، عدم استخدام المياه فى النقل، تطوير عمليات التنظيف...الخ.

المعالجة المسبقة أو الأولية تشمل تسوية التدفقات والحجز للمواد الصلبة العالقة باستخدام المصافى، الترسيب الحر، الطفو. المعالجة الكيميائية تشمل ضبط الرقم الهيدروجينى، الكلورة للتطهير وإزالة الروائح المنفرة. إضافة مواد الغذاء (حيث أن مياه صرف الصناعات الغذائية تفتقر إلى النيتروجين والفوسفور)، إضافة مواد الترويب من الجير أو الشبه والترسيب (لخفض الحمل العضوى بنسبة ٨٩%).

المعالجة الأولية القياسية لمياه صرف الصناعات الغذائية تتكون من مروق ومرشح تفريغ دوار لمعالجة الحمأة المرسبه. بإضافة الكيماويات نسبة الإزالة للحمل العضوى من ٢٥ – ٤٠% ونسبة إزالة المواد الصلبة العالقة من ٤٠ إلى ٧٠%.

المعالجة البيولوجية بالحمأه المنشطة يمكنها إزالة ٩٠ – ٩٥% من الحمل العضوى، المرشحات البيولوجية باستخدام الوسط الترشيحى من البلاستك باستخدام تدوير عالى للسائل والتهوية بالهواء المضغوط إستخدمت لمياه الصرف عالية التركيز بالملوثات من ٣٠٠ – ٤٠٠٠ ملجرام/لتر مع نسبة الخفض من ٧٠ – ٧٧%.

عند توفر مساحات من الأراضى إستخدمت الأحواض أو البرك لمعالجة مياه صرف الصناعات الغذائية. الأحواض اللاهوائية حققت خفض فى الحمل العضوى حتى ٩٧% والمواد الصلبة العالقة حتى ٩٥%. وهذه الطرق تستخدم عادة كخطوة أولى قبل الصرف على شبكة الصرف الصحى.

الأحواض ذات التهوية الصناعية مع عمليات أخرى حققت خفض فى الحمل العضوى بنسبة ٩٠ – ٩٥% وأنتجت مياه ذات نوعية جيدة يمكن صرفها مباشرة على المسطحات المائية.

أحواض التهوية الطبيعية حيث زمن المكث لمدة طويلة حققت نسبة إزالة للحمل العضوى حتى ٩٩% وذلك رغم تعرضها لمشاكل تشغيل مثل نمو الطحالب، مشاكل التعفن.

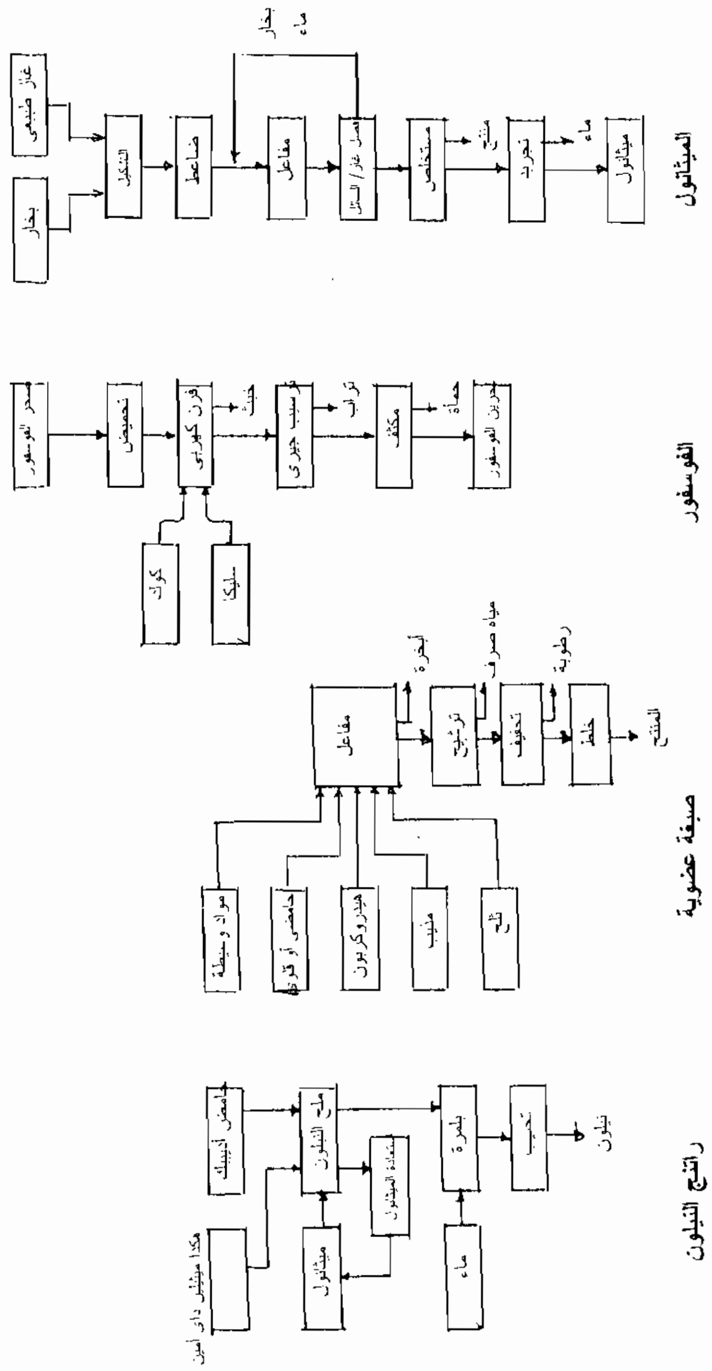
أفضل طرق التخلص هى باستخدام أحواض الترسيب والبخر. كما استخدم الرى بالرش عند توفر الأراضى المناسبة. أوصت (EPA) يحسن الأداء داخل المصنع لخفض استهلاك المياه وخفض الملوثات والمعالجة التى تتكون من إستخدام المصافى، الترسيب الأولى، المعالجة البيولوجية. ويفضل بعد المعالجة البيولوجية عمل تهوية إضافية فى أحواض تهوية، ثم الترشيح الرملى.

الفصل الرابع

مياه الصرف الصناعى من الصناعات الكيميائية

١- مقدمة:

الصناعات الكيميائية شديدة التعقيد ولها تقسيمات كثيرة والتى تتكون من المواد العضوية والمواد الغير عضوية. الكيماويات الغير عضوية هى أساساً من مواد معدنية شاملة الماء والهواء، أما المواد العضوية فيتم الحصول عليها من الحيوانات والنباتات أو من المواد الكربونية الخام المنتجة من الفحم أو البترول. الصناعات البتروكيميائية هى فرع هام من الصناعات العضوية حيث المواد الخام تستخلص من مشتقات البترول الخفيفة ومن الغاز الطبيعى. هذه الصناعات الكيماوية تنتج حوالى ١٥ صناعة كيماوية كبيرة، ٣١ صنف من الراتنجات والخيوط الصناعية. خطوات التصنيع الكيميائية تختلف حيث تتراوح ما بين التغيرات الكيماوية إلى إعادة التنظيم الكيماوى المعقد أو التخليق (Synthesis). معظم عمليات التصنيع تتكون من المراحل الكيماوية والكيماوية الطبيعية مثل التفاعلات الكيماوية، خفض حجم الحبيبات، الإذابة، البلورة، التقطير، الإدمصاص، الإستخلاص (Extraction)، التسخين، التبريد، التبخير. توجد أربع عمليات موضحه في شكل (١/٤- أ، ب،جـ،ء). الصناعات الكيماوية هى من أكبر الصناعات المستخدمة للمياه، حوالى



شكل (٤/١) مخطط عام لبعض الصناعات الكيماوية

٦٥% من المياه يستخدم لأغراض التبريد، بينما يستخدم الباقى فى إعداد المنتجات. هذا بالإضافة إلى أن كثيراً من التفاعلات الكيماوية منتجا للماء كأحد نواتج التفاعل، وهذا يشكل جزء من مشاكل مياه الصرف. تستخدم كمية صغيرة من الميـــاه فـــى العملية الصناعية كمذيب، وكوسط للتفاعلات الكيماوية والطبيعية وفـــى عمليـــات الغسيل وتشطيب المنتجات.

مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية تحتوى على مواد كثيرة والتـــى يجـــب إزالتها بالمعالجة. وهى تحتوى على ملوثات من كثير مـــن المـــواد ذات الأصـــل النباتى أو الحيوانى أو المعدنى.

٢- تقييم الملوثات فى مياه الصرف للصناعات الكيماوية:

أ- يعبر عن كمية الخليط من المواد العضوية فى ميـــاه الصـــرف بمســـاعدة مؤشرين وهمـــا الأكســـجين الكيمـــاوى المســـتهلك (Chemical Oxygen Demand - COD) والذى يشير إلى كمية الأكسجين بالملجرام/لتر اللازمـــة لأكسدة المواد العضوية الموجودة فى مياه الصرف إلى CO_2، H_2O، NO_3. لتعيين COD تستخدم طريقة قياسية باستخدام كرومات البوتاســيوم ($K_2 Cr O_3$) أو برمنجنات البوتاسيوم ($K_2 Mn O_4$). كمواد أكسدة أو تحميض.

أما كمية الأكسجين بالملجرام/لتر اللازمة للتحلـــل البيولوجـــى (الأكســـدة البيولوجية) للمركبات العضوية القابلة للتحلل البيولوجى فى مياه الصـــرف فهى تعرف بالأكسجين الحيـــوى أو البيولوجـــى المســـتهلك (Biological Oxygen Demand - BOD). كذلك يوجد مؤشر ثالث يستخدم فـــى تعييـــن خليط المواد العضوية فى مياه الصرف وهو تعيين كل الكربون العضـــوى (TOC - Total Drganic Carbon) بالملجرام/لتر حيث يتم القياس بأكسدة كل المواد العضوية الغير قابلة للتحلل البيولوجى (COD) وتلك التـــى تتحلـــل بيولوجيا (BOD) إلى ثانى أكسيد الكربون.

ب- أيونات المعادن الثقيلة مثل الكروم، الزئبق، الرصاص وبعض الأيونات السامة الأخرى (مثل السيانيد) حيث المحتوى يجب أن يكون محدود جداً فى مياه الصرف.

ج- الحموضة والقلوية لمياه الصرف والتى تشكل خطورة فى شبكات الصرف وفى الصرف على المسطحات المائية بما يتطلب معالجتهم.

د- الزيوت المعدنية والشحوم والمواد الطافية الأخرى التى يمكن أن تطفو على سطح الماء حيث يجب إزالتها تماما من مياه الصرف.

ه- المواد الغذائية والتى تعتبر هامة فى عمليات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف مثل مواد النيتروجين والفوسفور، ولكن يجب الحد من زيادتها حيث أن ذلك يسبب نمو للطحالب والكائنات النباتية فى المسطحات المائية التى يتم الصرف عليها.

و- المواد الصلبة العالقة والهلامية والتى تسبب العكارة للماء حيث يمكن أن ترسب بما يسبب إنسداد فى مواسير الصرف. وجود المواد العالقة يحدد بمؤشر لإجمالى المواد الصلبة العالقة العضوية وغير العضوية.

ز- للتمييز ما بين المحتوى من المواد العضوية الصلبة والمواد العضوية البيولوجية (Biomass) فى مياه الصرف يوجد مؤشر آخر وهو المحتوى من الأجسام الصلبة العالقة المتطايرة بالملجرام/لتر والتى يتم تعيينها بالأكسدة عند ٥٥٠م.

ح- المواد المسببة للون والعكارة والرائحة فى مياه الصرف والتى يجب إزالتها. اللون كعامل ملوث يستخدم لمياه الصرف من صناعة الورق ولب الورق وصناعة المنسوجات. الرائحة يمكن أن تكون بسبب الكبريتيد أو المواد المتطايرة الأخرى والتى تسبب تلوث للبيئة والهواء.

ط- **السمية:** أن أهم المؤشرات فى تعيين تأثير مياه الصرف علـــى الكـــائنات المائية هو السمية. الطريقة القياسية لتعيين السمية فى مياه الصرف هـــى بواسطة الإختبار البيولوجى (Biotest) حيث يتم تقدير تأثير المـــادة علـــى كائنات حية. عادة الأجناس من هذه الكائنات الحية الحيوانية أو النباتيـــة. عادة يستخدم نوع من السمك الأوربى يسمى السمك الأحمـــق (Fat Head Minnows) أو أعداد ضخمة من نوع آخر من الأسماك الصغيرة جداً. هى (Myrid shrimp) أو النباتات من الفصيلة الغارية القشرية وتسمى (Dapha Mogna Crustaceans). يتم تعريض هذه الكائنات الحيـــة لتـــأثير ســـائل الصرف لمدة زمنية معينة (عادة ٤٨ – ٩٦ ساعة وأحيانا ٢٤ ساعة). يتم التعرف على السمية بأنها كمية المواد التى تسبب الموت لـــ ٥٠% مـــن الكائنات الحية ويرمز لها بالرمز (LC_{50}) أى التركيز السام (LC = Lethal Concentration). الكمية المنخفضة لـــ LC_{50} يقابلها سمية عاليـــة لميـــاه الصرف والعكس صحيح.

الجدول التالى يبين السمية لبعض المواد عند التعرض لمدة ٩٦ ساعة بالملجرام/لتر

	Fat Head Minnows	Daphne Mogna	Myrid Shrimp
المواد العضوية			
البنزين C_6H_6	٤٢,٧	٣٥,٢	٣٨,٧
٤،١ داى كلوروبنزين	٣,٧٢	٣,٤٦	٢,٨٩
٤،٢- داى نيتروفينول	٥.٨١	٥,٣٥	٤,٥٦
ميثيل الكلورايد	٣٢٦	٢٤٩	٣٢٥
الفينول	٣٩,٦	٣٣,٠	٣٥,٤
٦،٤،٢- تراى كلوروفينول	٥,٩١	٥,٤٥	٤,٦٢
المواد المعدنية			
الكادميوم	٣٨,٢	٠,٢٩	٠,٠٤
النحاس	٣,٢٩	٠,٤٣	١,٠٢
النيكل	٤٤٠	٥٤	—

يلاحظ من هذه البيانات أن مختلف الجرعات من السمية لنفس المركب يمكن منها تمييز مختلف الكائنات الدقيقة. بالإضافة إلى أن دقة النتائج من تعيين السمية يمكن أن تنخفض مع إرتفاع قيمة (LC_{50}). على الجانب الآخر فعند قيم صغيرة لـ (LC_{50}) توجد نسبة عالية من الكائنات الدقيقة ميتة، وهذا يعطى صورة أكثر دقة عن السمية الحقيقية. نتائج القياسات تختلف إلى حد ما حسب ظروف الاختبار ونوع الكائنات وعدد التكرار. لهذا السبب تستخدم طرق إحصائية لتعيين السمية فى إختبارات الكائنات الحية (Biotests).

قريبا أصبح الحصول على معلومات عن السمية والتحلل البيولوجى الهوائى للمواد المطلوبة (Biodegradability) لعمل المعالجة المؤثرة لمياه الصرف بسيطا إلى حد كبير. ففى أوربا الغربية توجد خدمة الكمبيوتر لهذا الغرض والتى تسمى (INSTAB) (Information Service on Toxicity and Biodegradability). حيث تتوفر المعلومات المطلوبة بكثرة.

لمعالجة مياه الصرف من الصناعات الكيماوية يستخدم لهذا الغرض ثلاث أنواع من الإنشاءات للمعالجة وهى المحلية والعامة ومحطة معالجة مياه الصرف الصحى للمدينة. تصمم محطات المعالجة المحلية لمعالجة مياه الصرف عند خروجها مباشرة من وحدة الإنتاج. تصمم وحدة المعالجة العامة لتنقية المياه الملوثة من المصانع الكيماوية مع استخدام كل طرق المعالجة لمعالجة مياه الصرف الصناعى بما فيها الطرق الميكانيكية الطبيعية والطرق الكيماوية والبيولوجية.

محطات معالجة المدينة حيث تتم المعالجة بالطرق الميكانيكية الطبيعية - الكيماوية والبيولوجية حيث يجب ألا تحتوى مياه الصرف الصناعى على الملوثات التى تعيق المعالجة لمياه الصرف الصحى.

٣- استخدام المياه فى الصناعات الكيماوية وصناعة البتروكيماويات:

- تبريد المنتجات فى المبادلات الحرارية، للمنتجات كما فى حالة إنتاج الأمونيا، أو حامض الفوسفوريك أو الأسيتيلين أو الإيثيل بنزين أو البروبيلين... الخ.
- تبريد الضواغط، طلمبات التفريغ، صندوق تروس الطلمبات، كراسى التحميل حيث يتم تسخين الماء ولكنه لايتلوث.
- تحضير محاليل العمليات وإنتاج البخار فى محطات القوى الكهربية أو غرف الغلاية للاستخدام فى تسخين المواد المتفاعلة وكذلك للتعويض فى الفقد الحرارى فى التفاعلات الكيميائية حيث تمتص الحرارة.
- كل مصانع الكيماويات والبتروكيماويات يمكن أن تنقسم إلى أربعة مجموعات على أساس كمية المياه المستخدمة لكل طن من الإنتاج وهى:
  - المستخدمة لمياه قليلة حتى ٥٠ متر مكعب/الطن.
  - المستخدمة لكميات متوسطة من المياه من ٥٠-١٠٠ متر مكعب/الطن.
  - المستخدمة لكميات كبيرة من المياه من ١٠٠-١٠٠٠ متر مكعب/الطن.
  - المستخدمة لكميات كبيرة جداً من المياه لأكثر من ١٠٠٠ متر مكعب/الطن.

تستخدم الكميات الكبيرة من المياه فى عمليات التبريد فى الصناعات الكيماوية ولذلك فقد تستخدم المياه المالحة إلى حد كبير فى تبريد المعدات. لذلك فإن تطوير نظم إعادة استخدام المياه وإنخفاض الملوثات أصبح من المهام الكبيرة.

إمدادات المياه للاستخدام تتكون من المصادر السطحية والجوفية بالإضافة إلى مآخذ هيدروليكية ومحطات طلمبات لوصول المياه إلى محطات المعالجة لمياه الشرب ومياه الاستخدام الصناعى، ومحطات إزالة العسر وإزالة الملوحة، وكذلك

نظم التبريد (أبراج التبريد، أحواض الرش، أحواض التبريد)، خزانات المياه النقيــة الأرضية والعلوية.

نظم الإمداد بالمياه لأغراض الإنتاج تنقسم إلى: التمرير مرة واحدة، التدويـــر، إعادة الاستخدام.

كان من الضرورى تطوير نظم الامداد بالمياه فى الصناعة زيادة نســبة نظــم التدوير حيث أن هذه النظم حققت خفض فى التكاليف بنسبة ٤٠-٥٠% نسبة إلـــى نظم التمرير مرة واحدة، لذلك فإن ٩٠% من متطلبـــات الميـــاه فـــى الصناعـــات البتروكيماوية أصبح بنظام التدوير (Recirculating).

تنقسم نظم الإمداد بتدوير المياه إلى النوع المفتوح والنوع المقفل فـــى النـــوع المفتوح يتم تبريد المـــاء بالتصاقة بالهواء فى أبراج التبريد أو فى أحواض الـــرش أو فى أحواض التبريد، بينما فى النوع المقفل فإن المياه التى يتم تدويرها لايحـــدث لها أى التصاق مع الهواء الجوى حيث يتم التبريد فى المبادلات الحرارية أو يتم فى المبردات (Refrigeration) أو فى الأجهزة المقفلة للتبريد بالـــهواء. كذلـــك يوجـــد التدوير لإمدادات المياه والتى تتكون من إزدواج النظم المفتوحة والنظـــم المقفلـــة، حيث يتم تبريد المياه المزال ملوحتها أو المزال عسرها فـــى النظـــم المقفلـــة فـــى مبادلات حرارية مستخدمة مياه التبريد من دائرة خارجية.

استخدام مياه الصرف العادية والصناعية والمياه المحلاه فى تدوير نظم الإمداد بالمياه فى الصناعات الكيماوية:

من الإتجاهات الواعدة نحو تطوير استخدامات المياه هى تبنـــى نظـــام عـــدم الصرف (No-Waste Systems) فى الإمداد بالمياه. فى هذه النظـــم تســـتخدم ميـــاه الصرف الصحى المعالجة وكذلك مياه الصرف من الصناعات الأخرى لاســـتبدال

وتعويض الفاقد فى نظم التدوير. وذلك باستخدام المياه المعالجة فى التبريد وفى بعض الاستخدامات الفنية الأخرى فى الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية.

<u>إستخدامات المياه الطبيعية:</u>

إستخدمت مياه البحر والمياه الجوفية المعالجة لتصبح مياه عزبة فى نظم التبريد بالتدوير وفى المبادلات الحرارية.

لتحقيق الفائدة من المياه الطبيعية سواء كانت من البحر أو من جوف الأرض فإن ذلك يتوقف على تسخينها بالطرق الحرارية لتحويلها إلى مياه عزبة ثم إستخدامها فى نظم التدوير وإنتاج مجال تسخين.

تتوقف كفاءة تسخين المياه على التغلب على الترسيبات (Scales) ومشاكل التآكل. حيث أن المياه الجوفية ومياه البحر تحتوى دائما على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم وأيونات الكبريتات والبيكربونات فإن وجود هذه الأيونات يحدد درجة العسر لهذه المياه المعدنية وقدرتها على تكوين الترسيبات (Scales). الأملاح المسببة للترسيبات هى أملاح كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم. كما أن من المشاكل الهامة فى استخدام المياه المعدنية هى مشكلة التآكل للمعدن، حيث تتوقف عدوانية المياه على محتواها من الأملاح الكلية المذابة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة، سرعة حركة المياه والغازات المذابة مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. أكبر تأثير عدوانى هو الناتج عن أيونات الكلور المذابة فى المياه الطبيعية، حيث أن المحتوى من أيون الكلور أكثر من ٢٠ ملجرام/لتر يزيد التآكل للزنك وللحديد المجلفن والمعادن الأخرى. عملية التآكل تقل فى وجود أيونات الكالسيوم نظراً لأن هذه الأيونات تعمل على تكوين طبقة حماية.

٤- الخطوط العامة لمعالجة مياه الصرف الصناعى من الصناعات الكيميائية:

العمليات الكثيرة المختلفة فى الصناعات الكيماوية لها نظام عام لمعالجة مياه الصرف. حيث تشمل كل عمليات معالجة مياه الصرف طرق طبيعية – كيميائية – بيولوجية. وطبقاً لدرجة التنقية المطلوبة يمكن تقسيم المعالجة إلى الأولية والثانائية والثلاثية. المعالجة الأولية والثنائية تستخدم لمياه الصرف المخففة وغير السامة، وهى تشمل نفس العمليات كما فى حالة معالجة مياه الصرف الصحى. بالنسبة لمياه الصرف المحتوية على ملوثات سامة أو ملوثات غير قابلة للتحلل البيولوجى فإنه يتم معالجتها أولا فى محطات معالجة محلية.

أ- المعالجة الأولية لمياه الصرف الصناعى: (Primary Treatment)

تتم المعالجة الأولية لمياه الصرف الصناعى لإعدادها للمعالجة البيولوجية. المعالجة الأولية تشمل التسوية (Equalization) لمكونات مياه الصرف وتعادلها (Neutralization) وذلك فى حالة إحتوائها على قلويات وأحماض التى تسبب التآكل والتلف للمعدات. الطريقة الميكانيكية للتنقية الأولية تشمل الحجز للمواد الطافية والعالقة باستخدام المصافى ثم الترسيب والترشيح، هذا بالإضافة إلى أن الطرق الطبيعية الكيميائية التى تشمل الطفو والترويب من وسائل المعالجة الأولية. هذه الأشكال من المعالجة تعد مياه الصرف إلى البدء فى المعالجة البيولوجية. حيث يكون الرقم الهيدروجينى ما بين ٦-٩، المحتوى من المواد الصلبة العالقة أقل من ١٥٠ ملجرام/لتر والمحتوى من الزيوت والشحومات أقل من ١٥ ملجرام/لتر والمحتوى من الكبريتيد أقل من ٥٠ ملجرام/لتر ومستوى أيونات المعادن الثقيلة أقل من ١ ملجرام/لتر، يتم هذا باستخدام المصافى ذات الألواح المثقبة كما فى حالة صناعة الورق ولب الورق، أو أحواض حجز الرمال أو المصافى الثابتة أو المتحركة أو الهزازة.

التدفقات المشتركة لمياه الصرف تدخل أولا حوض التسوية والذى يصمم لتجانس المكونات وتسويتها ومنع ترسيب المواد العالقة بما يوفر الثبات والتنظيم للتدفق ودخول المياه إلى وحدات المعالجة مع ثبات وتسوية تركيز الملوثات بما يحقق زيادة تأثير عمليات المعالجة التالية وحمالية محطة المعالجة من زيادة الأحمال أو توقفها من آن إلى آخر.

مياه الصرف من مختلف العمليات التكنولوجية تحتوى على القلويات وعلى الأحماض. يتم معادلة مياه الصرف الحامضية والقلوية لمنع تآكل المواد المستخدمة فى وحدة المعالجة وكذلك لمنع تلف المعالجة البيولوجية التالية وكذلك لعدم الخروج عن المعايير المقررة للصرف على المسطحات المائية هذا بالإضافة إلى ترسيب المعادن الثقيلة من مياه الصرف.

فى حالة المعالجة مع عدم إمكان تحقيق التعادل المتبادل، عندئذ تستخدم الكيماويات لمعادلة مياه الصرف. الحامضية والقلوية. يتم عادة معادلة مياه الصرف الحامضية باستخدام الجير الحى أو الجير المطفى (CaO or $Ca(OH)_2$)، والذى يعتبر مادة رخيصة التكاليف وسهلة الاستخدام. ولكن لها عدة عيوب حيث يكون من الصعب تنظيم والتحكم فى جرعة فى الخط (In Line) مع الرقم الهيدروجينى (pH) للمياه المتعادلة، ذلك لأن معدل التفاعل بين المحلول الحامضى والحبيبات الصلبة العالقة للجير فى المحلول صغير نسبياً. لهذا السبب فإن التفاعل النهائى النشط فى المجال المائى لايتم فى الحال ولكن بعد فترة زمنية معينة، هذا بالإضافة إلى أن كبريتات الكالسيوم التى تتكون نتيجة لعملية التعادل عند تركيزات عالية ترسب فى القاع بما يشكل عبئ التخلص منها فى أحواض الترسيب. تستخدم الأحماض المختلفة القوية لمعادلة مياه الصرف القلوية، أقل هذه الأحماض سعرا وأكثرها استخداما هو حامض الكبريتيك. كذلك يمكن معادلة مياه الصرف القلوية باستخدام الغازات العادمة والتى بها تركيز من ثانى أكسيد الكربون يزيد عن

١٤%. صعوبة حساب الكميات الصحيحة للقلوى أو للحامض يسبب إنخفاض طاقة الدرئ (Buffering Capacity) لمعظم مياه الصرف. لذلك يكون من المفضل عمل التعادل فى مرحلتين أو فى ثلاث مراحل باستخدام معدات التعادل (Neutralizers) المجهزة بتجهيزات خلط وجهاز للتحكم فى الرقم الهيدروجينى فى المجال المائى.

المواد المنتشرة من الرمال والأتربة ذات حجم حبيبات حتى ٢-٥ ميكرون وكذلك المواد الصلبة التى تتكون نتيجة عمليات التعادل (مثال لذلك كبريتات الكالسيوم) يتم إزالتها من مياه الصرف بالترسيب بالجاذبية. الرواسب يتم إزالتها عادة من قاع أحواض الترسيب بالطرق الميكانيكية. يجب التخلص من الرمال والحبيبات الصلبة من مياه الصرف لتجنب تلف الطلبات نتيجة الاحتكاك والبرى، كذلك إنسداد المواسير والتراكم فى أحواض الترسيب. لتنفيذ ذلك تستخدم أنواع مختلفة من أحواض حجز الرمال وخاصة النوع الأفقى حيث تمر المياه بمعدل ٠,٣ متر فى الثانية، هذا النوع من أحواض الترسيب يسمح للرمال بالترسيب فى قاع الحوض. حبيبات الأجسام الصلبة العضوية تمر إلى أحواض الترسيب والترويق والتى تكون إما أحواض مستطيلة أو مستديرة. الكفاءة العالية للتخلص من الأجسام الصلبة العالقة تتم باستخدام أحواض الترسيب المجهزة بالألواح أو الأنابيب المتعددة والمائلة.

بالنسبة لمياه الصرف ذات المحتوى المنخفض من الأجسام الصلبة العالقة والتى يلزم ترويقها تماما، فإنه يتم إستخدام المرشحات ذات الوسط الترشيحى الحبيبى (رمل الكوارتز، كسر الجرانيت...الخ) حيث يكون سمك الوسط الترشيحى من ٦١ إلى ١٦٢سم وسمك حجم الحبيبات من ٠,٢٥ إلى ٢ مليمتر. وهذه المرشحات تعمل بالجاذبية أو بالضغط وتكون إما ذات تدفق علوى أو تدفق سفلى. الترشيح يعمل على خفض تركيز المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف إلى ٥-١٠ ملجرام/لتر، ٣-٧ ملجرام/لتر بالنسبة للاكسجين الحيوى المستهلك.

يفضل استخدام المرشحات ذات الوسط الترشيحى المزدوج أو متعددة الطبقات عند تنقية مياه الصرف بعد المعالجة البيولوجية. المرشح الذى يحتوى على وسط ترشيحى مكون من طبقتين تكون الطبقة العلوية من الفحم النباتى بسمك نصف متر وقطر الحبيبات ١ مليمتر والطبقة السفلى من الرمل بسمك ٠,٣ متر وقطر حبيبات الرمال ٠,٤٥ مليمتر. بعد الاستخدام ٦-١٢ ساعة يتم تنظيف المرشحات من الأجسام الصلبة بتمرير تيار من الهواء أو من البخار خلال طبقة الوسط الترشيحى فى إتجاه معاكس لتدفقات المياه. عملية إزالة الزيوت والشحوم والمواد الأخرى الطافية تتم بنوعين من معدات الطفو وهما الطفو بالجاذبية حيث يستخدم لذلك جهاز فصل الزيوت لمعهد البترول الأمريكى (API-Separator)، الطفو بفقاعات الهواء (Air - Bubbles Flotation) حيث يذوب الهواء فى مياه الصرف عند الضغط، وعند إنخفاض الضغط حيث تتكون فقاعات تطفو على السطح آخذة معها الزيوت والشحوم الطافية كما يمكن زيادة كفاءة هذه العملية باستخدام عوامل ترويب.

ب- *المعالجة الثنائية (البيولوجية) (Secondary treatment)*

المعالجة الثنائية تشمل التنقية البيولوجية التى تتم نتيجة الأكسدة والتحلل للمواد العضوية من خلال أداء الكائنات الدقيقة. عملية المعالجة البيولوجية تحول المواد العضوية المذابة إلى ثانى أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والحصول على مخلفات غير ملوثة للبيئة بالإضافة إلى كمية كبيرة من البيوجاز. المعالجة البيولوجية تعمل على خفض التلوث العضوى فى مياه الصرف من ٥٠ إلى ١٠٠٠ ملجرام/لتر من الاكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5) إلى أقل من ١٥ ملجرام/لتر.

عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف يمكن أن تتم فى الظروف الهوائية وفى الظروف الغير هوائية. المعالجة البيولوجية بواسطة البكتريا تؤدى إلى تكون كتلة من الكائنات الدقيقة (Biomass) محتوية على ثانى أكسيد الكربون والماء

والمواد المذابة التى لاتتأكسد بيولوجيا. تتم المعالجة البيولوجيـــة الهوائيـــة لميـــاه الصرف باستخدام الـــبرك المـــهواه (Aerated Ponds) والأحـــواض البيولوجيـــة والمرشحات البيولوجية وأكثر الطرق استخداما للتنقية البيولوجية لمياه الصرف هـو باستخدام الحمأة المنشطة فى أحواض التهوية.

فى حالة عمل المعالجة فى ظروف لاهوائية (حيث لايوجد أكسجين مذاب فـــى الماء) يحدث تحلل للمواد العضوية مع إنتاج غاز الميثان وثانى أكســـيد الكربـــون وخلايا للكائنات الحية الدقيقة (Biomass). تستخدم المعالجة اللاهوائية لمعالجة ميـــاه الصرف عالية التركيز بالمواد العضوية والتى لاتقل عن ١٥٠٠ ملجرام/لتر مقيمـــة كأكسجين كيماوى مستهلك (COD).

تشمل طرق المعالجة البيولوجية لمياه الصرف النترجة وإزالة النترجة. هـــذه (Nitrification And Denitrification) الطرق تساعد فى تحـــول النيـــتروجين فـــى أملاح الأمونيا (بعد الأكسدة بالبكتريا المؤكسدة للأمونيا إلى النيتريت والنترات) إلى النيتروجين الغاز. فى كلا العمليتين تحتوى مياه الصرف المعالجة على كتلـــة مـــن البكتريا (Biomass) وبعض المواد التى لاتتحلل بيولوجيا فى شكل رواسب.

جـ- المعالجة الثلاثية *(Tertiary Treatment)*

تضاف المعالجة الثلاثية بعد المعالجة البيولوجية وهى تشمل الترشيح لإزالـــة المواد العالقة والهلامية، الإدمصاص بحبيبات الفحم المنشط أو بودرة الفحم المنشط، (ملحق و) الأكسدة الكيماوية لإزالة المواد العضويـــة التـــى لاتتأكســـد بيولوجيـــا. بالإضافة إلى الطرق السابقة توجد طرق أخرى لتنظيف أو لتلميع المياه وهى تشمل الترويب والتبادل الأيونى، التناضح العكسى، الترشـــيح الفـــائق (Ultrafilteration) والطرق الكهروكيميائية. المعالجة المحلية يجب أن تتم لمياه الصرف التى تحتـــوى

على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة، المبيدات والملوثات الأخرى التى قد تعيق المعالجة البيولوجية لمياه الصرف.

د- الطرق الميكانيكية لمعالجة مياه الصرف:

تستخدم الطرق الميكانيكية لفصل المواد غير المذابة العضوية وغير العضوية من مياه الصرف، ذلك لإعداد المياه المعالجة البيولوجية، للمعالجة الكيميائية الطبيعية للتنقية. تتكون المعالجة الميكانيكية من مصافى القضبان، أحواض ترسيب وحجز الرمال والترشيح. يتوقف نوع وحجم وطريقة المعالجة على أساس مكونات وخواص وطريقة المعالجة التالية لمياه الصرف.

كقاعدة عامة المعالجة الميكانيكية هى معالجة أولية لتأكيد فصل ٩٠ – ٩٥% من المواد العالقة وخفض الملوثات العضوية (BOD_5) إلى ٢٠ – ٢٥%. يمكن زيادة كفاءة الطرق الميكانيكية باستخدام أجهزة الطرد المركزى الهيدروليكى (Hydrocyclones) واستخدام المساعدات للترشيح ومساعدات الطفو.

٥- الطرق الطبيعية - الكيميائية لمعالجة مياه الصرف:

وهذه تشمل الترغيب والترويب (Flocculation And Coagulation) والإدمصاص، الاستخلاص، التبادل الأيونى والتناضح العكسى. وتستخدم طرق المعالجة هذه فى مرحلة المعالجة الأولية لمياه الصرف وقبل المعالجة البيولوجية.

أ- الترويب: (Coagulation)

الأجسام الصلبة العالقة الكبيرة يمكن إزالتها بالطرق الميكانيكية ولكن الأجسام صغيرة الحجم والهلامية تظل كما هى حيث يمكن إزالتها باستخدام المرويات لزيادة حجم الحبيبات العالقة وزيادة كثافتها بما يمكن من التخلص منها بالترسيب والترشيح.

مواد الترويب المستخدمة فى معالجة مياه الصرف من الصناعــات الكيميائيــة وصناعة الورق ولب الورق وصناعة البتروكيماويات هى من أملاح الحديد ومــن أملاح الألومنيوم. عند استخدام مواد الترويب هذه فإنها تتحلل مكونة إيدروكســيدات الحديد والألومنيوم الغير مذابة فى الماء والتى تجذب اليها الأجسام الصلبة العالقــة الصغيرة الحجم والهلامية بما يزيد من حجمها ومن كثافتها حيث ترسب فــى قــاع الحوض. تضاف المرويات بجرعات من ١٠٠ إلى ١٥٠ ملجرام/لتر.

كما يجب ملاحظة أهمية استخدام كلوريد الحديديك وكبريتات الألومنيوم فــى إزالة الفوسفور من مياه الصرف (إلى ٠,٣ – ٠,٧ ملجرام/لــتر) وكذلـك إزالــة أيونات المعادن الثقيلة (الرصاص، النحاس، الزرنيخ، الكروم، الزئبق) فــى شــكل إيدروكسيدات خلال الترسيب المتبادل مع إيدروكسيدات الحديد والألومنيـوم. هــذه الطريقة تحقق إزالة للرصاص والزرنيخ والكروم الثلاثى بنسبة ٩٠% ولكنها أقــل تأثيراً فى إزالة النحاس (حوالى ٥٠%). لخفض إستهلاك مواد الترويب يتم تنفيــذ عملية الترويب فى مجال رقم هيدروجينى ما بين ٤,٥ – ٨ أما بالنســبة لأمــلاح الحديد فيكون الرقم الهيدروجينى للماء أكبر من ٩. كما يجــب أن تكــون جرعــة المروب فى المتوسط من ٠,٥ إلى ١ جرام/المتر المكعب. الترويب للمياه المحتويــة على مواد هلامية صغيرة ومنتشرة يمكن تنفيذه بتمرير مياه الصرف خلال جــهاز التحليل الكهربى (Electrolyser) حيث يكون الآنود من الألومنيوم والحديد. يتــأين معدن الآنود بتمرير التيار الثابت ويصل إلى الماء (الإليكتروليت)، عندئذ تــتروب حبيبات الملوثات مع إيدروكسيدات الحديد أو الألومنيوم التى تتكون حيث تعلق بها.

بإذابة واحد جرام من الألومنيوم فى الماء يكافئ إســتخدام ٦,٣ جــرام مــن كبريتات الألومنوم $Al_2(SO_4)_3$، إذابة جرام واحد من الحديد يكــافئ إســتخدام ٢,٩ جرام من كلوريد الحديديك ($FeCl_3$)، ٣,٦ جرام من كبريتات الحديديك $Fe_2(SO_4)_3$.

الطاقة الكهربية المستهلكة لإذابة جرام واحد من الألومنيوم هو ١٢ وات فـــى الساعة. كثافة التيار لاتزيد عن ١٠ أمبير على المتر المربع، حيث المســافة بيــن الأقطاب لاتزيد عن ٢٠ مليمتر ويكون معدل تدفق المياه بين الأقطاب بما لا يقــل عن ٠,٥ متر فى الثانية.

طريقة الترويب الكهروكيميائية يمكن إستخدامها لمياه الصرف المحتوية علــى حبيبات زيتية أو شحوم مستحلبة وكذلك لمســتحلبات منتجــات البــترول وأمــلاح الكرومات والفوسفات. عند معالجة مياه الصرف التى تحتوى على منتجات بتروليــة ومواد عالقة بتركيزات من ٠,٣ – ٧,٥، ٠,٥ – ٨ جرام/لتر بالتتالى فـــى وحـدة الترويب الكهربى (Electro Coagulation) تكون كفائة التنقية حتى ٩٩% وذلك عند استخدام تيار ثابت بكثافة ٠,٦ أمبير على المتر المربع وعند ١٠ – ١٨ فولت.

ب- الطفو (Flotation):

طريقة معالجة مياه الصرف المحتوية على مواد النشاط السطحى (المنظفــات) وكذلك الملوثات من زيوت البترول والمنتجات البترولية والزيــوت والمــواد ذات الشعيرات بطريقة الطفو حيث تزال طبقة الخبث الطافى من سطح الســائل والتــى تتكون من الفقاعات الهوائية والأجسام العالقة. طريقة الطفو تستخدم للتخلص مــن المواد الغير مذابة والخفض الجزئى لبعض المواد المذابة.

تستخدم الطرق التالية للطفو لمعالجة مياه الصرف من العمليات الكيميائية:

- الطفو بإزالة الهواء من المحلول (منشآت الطفو بالتفريغ والضغط).
- الطفو بالنشر الميكانيكى للهواء (الدوافع، منشآت الطفــو الــهوائى بــدون ضغط).
- الطفو حيث يمر الهواء خلال مواد مثقبة.
- الطفو الكهربى (Electro Flotation).
- الطفو الكيمائى والبيولوجى.

الطفو الذى يتم فيه إزالة الهواء يستخدم فى تنقية مياه العمليات المحتوية على أجسام صغيرة من الملوثات نظراً لأنه ينتج فقاعات هواء متناهية فى الصغر، حيث يتم تنفيذه بعمل محلول عالى التشبع بالهواء فى مياه الصرف. الهواء الذى يخرج من هذه المحاليل. يكون فقاعات صغيرة جداً والتى تطفو مع الملوثات العالقة الموجودة فى مياه الصرف. تستخدم إنشاءات الطفو بالتفريغ لمعالجة مياه الصرف ذات التلوث القليل بحيث لايزيد المحتوى من الملوثات العالقة عن ٢٥٠ ملجرام/لتر، وفائدته هو التنقية الجيدة والاستهلاك القليل جداً للطاقة. يستخدم الطفو بالضغط لأغراض كثيرة حيث أنه يمكن من تنظيم درجة التشبع الزائد للمحلول بالهواء طبقاً لدرجة الكفاءة المطلوبة للتنقية، مع تركيزات أولية من الملوثات حتى ٤–٥ جرام/لتر أو أكثر. التشبع بالهواء لمياه الصرف يحدث عند زيادة الضغط عن ٠,٣ – ٠,٥ مليبار (0.3-0.5 Mpa) لمدة ١–٣ دقيقة. الماء المشبع بالهواء يمر إلى خلية الطفو حيث تزال فقاعات الهواء مع الأجسام العالقة، حيث تتم الإزالة للطبقة الطافية بوسائل ميكانيكية بكشط الخبث إلى حوض جمع الخبث.

تتحدد مساحة خلية الطفو على أساس الحمل الهيدروليكى من ٦–١٠ متر مكعب فى الساعة لكل متر مربع من المساحة السطحية للخلية. زمن الطفو ٢٠ دقيقة. الطفو خلال خلية الطفو يجب ألا يزيد عن ١٠٠٠ متر مكعب فى الساعة. يستخدم الطفو بالضغط لإزالة المواد البترولية، الزيوت والشحوم ومواد النشاط السطحى (Surfactants) من مياه الصرف. عند معالجة المياه ذات أقصى حجم حبيبات للملوثات ٠,٥ ميكرومتر بمعدل ١٣٠ متر مكعب فى الساعة فإن درجة التنقية تكون بالنسبة للمواد العالقة ٩٨%، للأكسجين الحيوى ٥٠%، للأكسجين الكيماوى ٧٥%.

طريقة الطفو الكهربى (Electroflotation) لمعالجة مياه الصرف تتم عن طريق نقل أجسام التلوث العالقة من السائل إلى سطحه فى فقاعات الغاز التى تتكون

بالتحلل الكهربى (Electrolysis) لمياه الصرف. أثناء عملية التحلل الكهربى يتصاعد غاز الهيدروجين عند الكاثود والأكسجين على الآنود. الدور الرئيسى فى طفو الحبيبات يتم بالفقاعات التى تكونت عند الكاثود. إستبدال لوح الكاثود الشبكى يقلل من حجم الحبيبات وبالتالى يزيد من كفاءة جهاز الطفو الكهربى. [ملحق (د) تكنولوجيا المعالجة الكهروكيميائية لمياه الصرف الصناعى].

فى إنشاءات الطفو بالترويب الكهربى وعند استخدام أقطاب مذابة (Electrocoagulation, Flotation) من الحديد أو الألومنيوم فإنه يحدث إذابة آنودية للمعدن عند الآنود، بما يترتب عليه دخول أيونات الحديد أو الألومنيوم إلى الماء حيث تتكون زغبات الإيدروكسيد. التكوين المتزامن من زغبات المروب وفقاعات الغازات يؤدى إلى الإلتصاق القوى بين فقاعات الغاز والزغبات مع الترويب الجيد للمروبات، وبذا تكون عملية الطفو جيدة. تستخدم تقنيات الطفو الكهروكيميائى فى معالجة مياه الصرف من مصانع تكرير البترول ومصانع الورق ولب الورق.

لزيادة كفاءة طرق التنقيه بالطفو تضاف عوامل مساعدة خاصة إلى المياه التى يتم معالجتها وهى مواد التجميع (Collectors) والمواد المحدثه للرغاوى (Frothers)...الخ.

جزئيات مواد التجميع تتميز بوجود مجموعات إستقطاب (Polar Groups) التى تعمل على ربط جزئ مادة الربط مع سطح الجسم الهلامى والمجموعات غير أيونية (Non-Polar). مثال لمواد التجميع هى الأحماض الدهنية العالية وأملاحها وكذلك القلويات العضوية المحتوية على مجموعة هيدروكاربون فى الكاتأيون وأملاحها. مثال للمواد المحدثة للرغاوى هو مواد النشاط السطحى (المنظفات) مثل .(Alkyl - and Alkyl Aryl Sulphonates)...ets يستخدم الطفو كذلك فى معالجة مياه الصرف من صناعات البويات واللاكيهات، ولإزالة مواد السيانيد (Cyanides)

من مياه الصرف فى صناعة الكوك، وكذلك فى معالجة مياه الصرف فى مصانع إنتاج الصبغات.

جـ- الإدمصاص: Adsorbtion

لقد زاد الاهتمام بإدخال نظم الادمصاص لمعالجة مياه الصرف. من بين أهم الطرق لإزالة المواد العضوية المذابة من مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية والبتروكيماوية وصناعة الورق ولب الورق والأفرع الأخرى للصناعات الكيماوية هى الادمصاص على حبيبات الكربون المنشط. يمكن عمل الادمصاص مستقلا أو مع المعالجة البيولوجية باستخدام بودرة الفحم النشط. فوائد هذه الطريقة تشمل إمكانية إدمصاص مواد فى خليط متعدد المكونات وكذلك الكفاءة العالية فى تنقية مياه الصرف المخففة. طريقة الادمصاص ذات كفاءة فى سحب المواد النقية فى التدوير وإعادة الاستخدام. فى حالة استخدام بودرة الكربون المنشط فى وحدة المعالجة البيولوجية مباشرة فإنها تزيل المواد السامة بالإضافة إلى العمل على زيادة قدرة وحدة المعالجة. ملحق (و)

المعالجة بالإدمصاص لمياه الصرف تستخدم غالبا فى حالة مواد ومركبات أروماتية (Aromatics) فى مياه الصرف وكذلك المواد الغير أيونية أو التى تكون درجة تأينها ضعيفة والصبغات والمركبات من المواد الغير مشبعة وهى المواد الطاردة للمياه مثل تلك المحتوية على مجموعات كلورين أو مجموعات نيتروجينية (Nitro Group) وكذلك المركبات الأليفاتية (Aliphatic).

الكربون النشط من مختلف المصادر يعتبر عامل إدمصاص مؤثر. مسامية هذا الكربون هى ٦٠-٧٠%، المساحة السطحية لوحدة الوزن هى ٤٠٠-٩٠٠ متر مربع/الجرام. تتوقف خاصية الادمصاص للكربون النشط إلى حد كبير على المكونات وحجم الفراغات وتوزيع المسام. يقاس نشاط الكربون النشط بكمية المادة

التى تمتز (Adsorbed) لوحدة الحجم وكتلة المادة الكربونية (مثـــال كجــرام/متــر مكعب ١، جرام/كيلو جرام).

الكربون النشط المستخدم فى معالجة مياه الصرف يتم الحصـــول عليـــه مـــن الخشب، اللجنين، أو من فحم البيتومين ويكون عادة فى شكل حبيبات أو فى شـــكل بودرة. يكون حجم المسام والفتحات طبقا لنوع الخام المستخدم وعمليــــة التنشــيط المستخدمة. عموما الكربون المنشط المستخدم المنتج من فحم البتومين له كثافة أعلا من الأنواع الأخرى. تتوقف درجة الادمصاص على نــــوع الكربــون المســتخدم ومكونات مياه الصرف. معظم المواد العضوية والمركبات العضوية الأولية تمـــتز بواسطة الكربون المنشط بما يمكن من إزالة كثيراً من المواد الســـامة مـــن ميـــاه الصرف.

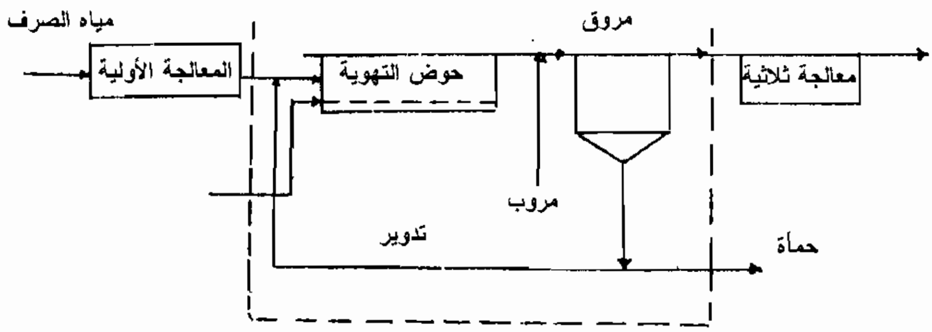
إدمصاص المواد العضوية على الكربون المنشط يعتمد على الخواص الطبيعية – الكيميائية مثل الوزن الجزيئ، الإذابة، التأمين (Polarity) ووضع المجموعـــات الدالة (Functional Groups) والشكل العام للتركيب الجزيئ – حيث المركبــات ذات التسلسل المتشعب من ذرات الهيدروكربون تمتز بسهولة أكثر من ذرات التسلســل المستقيم. الجزيئات ذات التأين المنخفض (Low Polarity) والإذابة المنخفضة تمـتز أسرع. عادة الكربون المنشط له قدرة كبيرة على الادمصاص للمواد ذات الـــوزن الجزيئ العالى. إدمصاص المواد غير العضوية يختلف حيث كلوريد البوتاســيوم لا يتم إدمصاصه عمليا بالكربون المنشط بينما كلوريدات الزئبق والحديد تمتز إلى حـد كبير. معظم المركبات العضوية التى لاتتحلل بيولوجيا يمكن أن يتـــم إدمصاصــها (تمتز) على الكربون المنشط. هذه الطريقة تطبق على نطـــاق واســـع فـــى إزالـــة الألوان، المركبات العضوية، المبيدات، المركبات العضوية المهلجنـــة فـــى ميـــاه الصرف.

جدول يوضح كفاءة الكربون المنشط فى إزالة بعض المواد العضوية من مياه الصرف:

الملوثـــــات	النسبة فى مياه الصرف ملجرام/لتر		نسبة الإزالة
	قبل المعالجة	بعد المعالجة	
رابع كلوريد الكربون	٢٠٤٥٠	٥٦٠	٩٧,٣
هكزا كلورو إيثان	١٠٤	٠,٢	٩٩,٨
نفتالين	٥٢٩	أقل من ٣	٩٩,٤
2- Chloronaphthalene	١٨	أقل من ٣	٨٣
كلوروفورم	١٤٣٠	٢٧	٩٨,١
تولوين	٢٣٦٠	٣	٩٩,٩

توجد أشكال مختلفة للمعالجة بالإدمصاص وكذلـك أنـواع مختلفـة لأجـهزة الإدمصاص. ويتم الاختيار طبقا لظروف التشغيل وطريقة المعالجة بالإدمصـاص ووضع وحدة الادمصاص ضمن مراحل التنقية ومكونات مياه الصرف ونوع وحجم وحدة الإدمصاص. لذلك يستفاد بمرشحات الحبيبات ذات قطر للحبيبات حوالى ٣,٥ مليمتر أو بوحدات ذات الطبقة السابحة (Fluidized Bed) حيث تكون طبقة كربـون الادمصاص بقطر من ٠,٥ إلى ١ مليمتر. فى حالة التنقية المتقنة لميـاه الصـرف واستعادتها لمياه تدوير للاستخدام يستفاد بجهاز بخلاط ومرشـحات غسـيل بـها حبيبات نحجم من ٠,١ مليمتر أو أقل. عادة إنشاءات الادمصاص تكون فـى عـدة مجموعات تعمل بالتوازى، كل مجموعة من ٣-٥ مرشحات موضوعين بالتتـالى. للحصول على أقصى تشبع، توجد أشكال مختلفة لإدمصاص بالتدفق الموازى (أعلا وأسفل)، وحدة الادمصاص ذات النبضات من الكربون المنشط (Pulsating). شـكل (٤/٢).

ميزة الطبقة المتحركة هى إمكانية توفير القـدرة علـى الإضافـة المسـتمرة والتنشيط للكربون.



شكل (٤/٢) المعالجة الهوائية لمياه الصرف

المعالجة بالإدمصاص تكون بالتنشيط عند إعادة إستخدام المواد التى تم إدمصاصها أو تكون بالتدمير عند عدم إستخدامها.

فى نظام التنشيط المادة الممتزة يمكن إستعادتها من سطح الكربون المنشط المستخدم بمذيب عضوى وتنشيطها وذلك بتقطير المادة الممتزة بالبخار (حيث يتم دفع البخار الحى خلال الكربون). للتخلص من المواد العضوية الممتزة يستفاد بتقطير مذيبات عضوية ذات درجة غليان منخفضة باستخدام البخار، مثل البنزين (C6 H6) والبيوتيل أسيتيت، داى كلوروإيثان...الخ. فى هولندا تضاف بودرة الكربون المنشط مباشرة فى وحدة المعالجة البيولوجية.

عند معالجة مياه الصرف التى تحتوى على عدد من الملوثات فإن حبيبات الكربون المستخدمة يتم تنشيطها عادة بالطرق الحرارية أو بالأكسدة التى تتم فى محرقة متعددة المراحل. الأكسدة الرطبة بأكسجين الهواء الجوى تتم عادة لتنشيط بودرة الكربون المنشط.

عند إستخدام الطريقة الحرارية يجب ملاحظة أن الفقد فى الكربون المنشط قد يصل إلى ٥-١٠% لذلك فإنه فى كل دورة تنشيط تقل المساحة السطحية وبالتالى

تنخفض قدرة الكربون المنشط. فى حالة وجود معادن ثقيلة فى مياه الصرف وتـــم إدمصاصها على الكربون المنشط يكون من الضرورى بعد التنشيط غسيل حبيبـــات الكربون بحامض وذلك لإزالة المعادن المتبقية والمكونات المعدنيــــة مـــن ســـطح حبيبات الكربون وبالتالى زيادة نشاط الادمصـــــاص لحبيبـــات الكربـــون بالنســـبة للمركبات العضوية.

الادمصاص بحبيبات الكربون المنشط يمكن أن يزيل أكـــثر مـــن ٩٠% مـــن الملوثات من المركبات العضوية من معظم مياه الصرف وذلك طبقاً للبيانات التـــى يوضحها الجدول التالى.

جدول بيانات المعالجة لمياه الصرف من بعض الصناعات بالادمصاص بالكربون المنشط

نوع الصناعة	إجمالى الكربون العضوى (TOC) والفينول ومؤشر اللون فى مياه الصرف	نسبة الإزالة %	الكربون المستخدم رطل/١٠٠٠ جالون
الصناعات الغذائية	TOC ٢٥-٥٣٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٠,٨ - ٣٤٥
صناعة التبغ	TOC ١٠٣٠ ملجرام/لتر	٩٧	٥٨
صناعة النسيج	TOC ٩-٤٦٧٠ ملجرام/لتر	٩٣	٠,١ - ٨٣
صناعة الورق	TOC ١٠٠-٣٥٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٣,٢ - ٣٥٦
	اللون ١,٤	٩٤	٣,٧
الطباعة	TOC ١٤-١٧٠ ملجرام/لتر	٩٨	٤,٣-٤,٦
الصناعات الكيماوية	TOC ١٩-٧٥٥٠٠ ملجرام/لتر	٨٥	٠,٧-٢٩٠٥٠
	الفينول ٠,١-٥٣٢٥ ملجرام/لتر	٩٩	١,٧-١٨٥
	اللون ٠,٧-٢٧٥	٩٨	١,٢-١٣٢٨
تقطير البترول	TOC ٣٦-٤٤٠٠ ملجرام/لتر	٩٢	١.١-١٤١
	الفينول ٧-٢٧٠ ملجرام/لتر	٩٩	٦-٢٤
المطاط والبلاستك	TOC ١٢٠-٨٣٧٥ ملجرام/لتر	٩٥	٥,٢-١٦٤
الجلود	TOC ١١٥-٩٠٠٠ ملجرام/لتر	٩٥	٣-٣١٥
تشكيل المعادن	TOC ٧٣٠٠٠ ملجرام/لتر	٢٥	٦٠٦
صناعة الزجاج والسيراميك	TOC ١٢-٨٣٠٠ ملجرام/لتر	٨٧	٢,٨-٣٠٠
استخلاص المعادن	TOC ١١-٢٣٠٠٠ ملجرام/لتر	٩٠	٠,٥-١٨٥٧
TOC = إجمالى الكربون العضوى			**TOC = Total Organic Carbon**

ونتيجة للأبحاث والتطوير الذى تم فى السنوات الأخيرة ظهر نوع آخر من مواد الإدمصاص الجديدة وذات الكفاءة العالية وهى الراتنجات ذات المسام الكبيرة (Macroporous) والتى لم يتم إستخدامها على نطاق واسع حيث يمكن استخدامها فى إزالة المركبات العضوية وغير أيونية (Non-Polar) من مياه الصرف فقط، بينما يمكن التخلص من المركبات الأخرى بالطرق التقليدية (مثال ذلك المركبات العضوية فى راتنجات التبادل الأيونى). الراتنجات ذات المسام الكبيرة هذه هى إختيارية (Selective) بدرجة كبيرة حيث تستخدم للتخلص من مركب واحد أو من مركبات فى طبقة واحدة.

جدول (--) إزالة المواد العضوية السامة من مياه الصرف بالادمصاص على راتنجات كبيرة المسام:

المركب	مستوى الخليط فى الماء ملجرام/لتر		نسبة التنقية %
	قبل المعالجة	بعد المعالجة	
رابع كلوريد الكربون	٢٠٤٥٠	٤٩٠	٩٩,٦
الكلوروفورم	١٤٣٠	٣٥	٦٧,٥
النفثالين	٥٢٩	٣	٩٩,٤
كلوردان	٢١٧	٠,١	٩٩,٩٥
مركبات الهيبتاكلور	٤٠	٠,٨	٩٨

قبل استخدام تكنولوجيا الادمصاص هذه يلزم توفير بيانات عن المركب العضوى وعمل التحاليل. بعد عمل التحاليل الضرورية يمكن استخدام أعمدة بمواد إدمصاص جديدة للمعالجة المؤثرة والاقتصادية (سواء تم التنشيط بمذيب أو بدون التنشيط).

مواد الادمصاص التى تم تناولها تستخدم فى المراحل الأخيرة لمياه الصرف هذا بالإضافة إلى مواد إدمصاص أخرى أقل تأثيراً وأكثر تكلفة مثل البنتونيت المطور المبنى على الخامات الطبيعية والذى يمكن استخدامه فى إزالة الملوثات العضوية من المياه.

د- التبادل الأيونى: (Ion Exchange)

عملية معالجة مياه الصرف بالتبادل الأيونى تمكن من إستخلاص وإسترجاع المخلوط الثمين (مركبات الزرنيخ، الفوسفور، الكروم، الزنك، الرصاص، النحاس، الزئبق، ومعادن أخرى) بالإضافة إلى المواد المشعة. كما أنه يمكن كذلك تنقية مياه الصرف إلى أقصى تركيز مسموح به للاستخدام ثانيا فى عمليات الانتاج أو فى التدوير لنظام الامداد بالمياه. التبادل الأيونى هو عملية تبادل بين الأيونات الموجودة فى المحلول والأيونات الموجودة على سطح المادة الصلبة (المبادل الأيونى). المبادلات الأيونية المستخدمة هى مواد غير عضوية أو مواد عضوية طبيعية (مثل سيليكات الألومنيوم، مشتقات السيليلوز والمغنسيوم ومواد مخلقة (Synthetic) من الراتنجات المستخدمة فى التبادل الأيونى.

تنقسم المبادلات الأيونية طبقا للشكل الخارجى إلى البودرة، الحبيبات، الشعيرات، طبقا لدرجة المسامية إلى الجيلاتينية والمتماثلة فى المسامية (Isoporous) وكبيرة المسام.

وتنقسم المبادلات الأيونية طبقاً لنوع التبادل الأيونى إلى الآتى:

- المبادلات الكاتأيونية قوية الحموضة والتى تحتوى على مجموعات السلفو (Sulpho Group) والمبادلات الآن أيونية قوية القلوية والتى تحتوى على قلويات الأمونيوم الرباعية (Quarterry Ammonuim Bases).
- المبادلات الكاتأيونية ضعيفة الحموضة التى تحتوى على مجموعات الكاربوكسل (COOH) والفينول والتى تتحلل عند رقم هيدروجينى أكبر من ٧، وكذلك المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلوية والتى تحتوى على مجموعات الأمين الأولية (NH2) ومجموعات الأمين الثانية (NH) والتى تتحلل عند رقم هيدروجينى أقل من ٧.

- المبادلات الأيونية ذات النوع المختلط، ذات خواص خليط من الأحماض القوية والضعيفة أو القلوية.

أهم الخواص للمبادلات الأيونية هى قوة إدمصاصها والتى تعرف بطاقة التبادل (Exchange Capacity). الطاقة الكاملة للمبادلات الأيونية هى العدد المكافئ من الأيونات بالجرام الموجودة فى مياه الصرف والتى يمكن أن تمتص واحد متر مكعب من المبادل الأيونى إلى التشبع التام. طاقة التشغيل للمبادل الأيونى هو عدد المكافئ من الجرامات للأيونات فى الماء والتى يمكن أن تمتص واحد متر مكعب من المبادل الأيونى قبل بدء دخول الأيونات الممتصة إلى المياه المرشحة (Filterate). فى معالجة مياه الصرف تستخدم المبادلات الآن أيونية والكاتأيونية بالخواص التالية:

- المبادلات الآن أيونية ذات قطر حبيبات ٠,٢ إلى ٠,٨ مليمتر وطاقة التبادل ٨٠٠ جرام مكافئ على المتر المكعب ($SO_4^{``}$)، المبادلات الكاتأيونية ذات قطر الحبيبات ٠,١ – ١ مليمتر وذات طاقة تبادل كاتأيون الهيدروجينى، الصوديوم ٨٠٠ جرام مكافئ/المتر المكعب. الظاهرة المميزة للمبادلات الأيونية هى تفاعلاتها العكسية، حيث يمكن أن يتم التفاعل فى الإتجاه العكسى والذى هو أساس عمليات التنشيط. تتم عمليات التنشيط للمبادلات الكاتأيونية بالغسيل باستخدام الحامض (فى حالة التبادل الكاتأيونى بالهيدروجين أو محلول كلوريد الصوديوم عندما يكون التبادل الكاتأيونى الصوديوم). تنشيط المبادلات الآن أيونية ضعيفة القلوية يتم بالترشيح باستخدام محلول بتركيز ٢–٤% من إيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم وأيدروكسيد الأمونيوم خلال طبقة من المبادل.

تتكون عملية التنشيط من ثلاث مراحل، وهى تفكك طبقة التبـــادل الأيونـــى، عملية التنشيط ثم غسيل المبادل الأيونى من نواتج التنشيط والزائد من المواد التـــى استخدمت فى التنشيط.

كفاءة عامة ونظراً لأن مياه الصرف تحتوى على عدة كاتأيونات لذلك يجـــب الإهتمام نحو الإدمصاص الإختيارى أو التفضيلى لإدمصاص تلك الكاتأيونات. فلكل نوع من الكاتأيونات يتم تصميم سلسلة المبادلات الكاتأيونية علـــى أســـاس طاقـــة إستبدالهم. نفس القاعدة تنطبق على المبادلات الآن أيونية. فـــى حالـــة المركبـــات العضوية فإنه ليست فقط الخاصية ولكن كذلك صفة الإدمصاص للمبادلات الأيونيـــة التى تعتبر هامة، وهى تتوقف على القوى السطحية للتفاعل الداخلى للجزيئات.

تتم عملية المعالجة بالتبادل الآيونى لمياه الصرف إمـــا فـــى جـــهاز مرحلـــى ومتقطع (Intermittent) أو بجهاز مستمر. عند تنقية المياه الملوثة بالمواد العالقـــة تستخدم أعمدة (Columns) المبادل الأيونى ذات الطبقة العائمـــة (Fluidized Bed) للمبادل الأيونى. طريقة التبادل الأيونى تستخدم فى معالجة ميـــاه الصـــرف فـــى الصناعات الكيماوية والبترولية والميتاليرجيه، وفى صناعة منتجات الكوك وأفـــرع الصناعات الأخرى. متوسط تكاليف التشغيل للمعالجة بالتبادل الأيونى للمتر المكعب بالدولار الأمريكى هو حوالى ٠,٠٧ دولار. وتزداد التكاليف فى حالة زيادة تركـــيز الملوثات.

من الصعب إستخدام التبادل الأيونى لمعالجة المياه ذات المحتوى العالى مـــن الاملاح وذلك بسبب التكاليف المرتفعة لتنشيط المبادلات الأيونية بالإضافـــة إلـــى مشاكل الاستخدام المناسب للمحاليل المركزة بالاملاح التى تكون ناتج هذه الحالة.

فى معالجة مياه الغسيل والمياه السطحية ذات المحتوى المنخفض مـــن الملوثـــات المعدنية فى الصناعات الكيماوية، المحتوية على مواد عالقة صلبة ومخاليط معينـــة

مذابة للمنتجات التكنولوجية، فإن الطريقة المتفق عليـــها عالميـــا هـــى المعروفـــة بالطريقة المزدوجة التى تتكون من المعالجة الميكانيكية والتبادل الأيونـــــى، وذلـــك بترشيح المياه ثم تمريرها خلال مبادل كاتأيونى قوى، وجـــــهاز إزالـــة الكربـــون (Decarbonizer) ومبادل آن أيونى قلوى قليلا أو متوسط. بذلـــك تنتـــج ميـــاه ذات محتوى من الأملاح يمكن إعادة إستخدامها أو تدويرها فى نظام الامداد بالمياه.

التبادل الأيونى لإزالة الملوثات العضوية:

تستخدم المعالجة بالتبادل الأيونى لتنظيف مياه الصرف الكيماوية مـــن الملوثـــات العضوية. مثال لذلك هو المعالجة بالتبادل الأيونى لإزالـــة خليـــط مـــن الأنيليـــن والكلورامين من مصنع الكلورامين. يتم إضافة حامض الهيدروكلوريك إلـــى ميـــاه الصرف غير المعالجة ثم الترشيح لفصل المواد العالقة التى ترسب أثنـــاء عمليـــة إضافة الحامض ثم يلى ذلك دفع المياه إلى سلسلة متعاقبة من أعمدة التبادل الأيونـــى ذات إرتفاع كلى لطبقة التبادل الكاتأيونى بما لايقل عن ٣ مـــتر. عـــادة يســـتخدم عامودين للعمل فى التبادل الأيونى بينما عامود واحد يتم تنشيطه بمحلول الأمونيا – الميثانول. بعد التنشيط يتم غسيل المبادل الكاتأيونى للتحول إلى شكل الـــهيدروجين وذلك باستخدام ٨–١٠% محلول حامض الهيدروكلوريك. المياه المعالجة لـــها تفـــاعل حامضى قليل ويجب معادلته بمحلول الجير المطفى قبل الصرف. محلول التنشـــيط يتم تقطيره فى برج التقطير والأمينات (Amines) المنتجة فى العملية يتـــم إعـــادة استخدامها.

يوجد الفينول فى مياه الصرف لصناعـــة البلاســـتك، البويـــات، اللاكيـــهات، والفينول المخلق فى كيمياء–الكوك، وفى الصناعات البترولية وبعض الصناعـــات الأخرى بتركيز من ٠,٤ – ٣٠ جرام/لتر. كمية الفينول فى مياه الصرف التى يتـــم معالجتها بيولوجيا يجب ألا تزيد عن ٢٥٠ ملجرام/لتر. تســـتخدم طريقـــة التبـــادل

الأيونى لإزالة الفينول من ميــاه الصــرف. لاســتخلاص الفينــول، الكريــزول، ريزورسينول، الإيثيل فينول والهيدروكينون تستخدم المبادلات الآن أيونية المبنيــة على مــواد الامتصــاص مــن (2, 3 or 4 - Vinylpyridine, Otherpyridine Containing Sorbents) المذيبات المحتوية على مادة البــيريدين. يتــم إســتخلاص المادة الممتصة باستخدام المذيبات، الماء الساخن أو البخار.

تم تطوير أنواع خاصة من المبادلات الأيونية لإزالة الزئبق من ميــاه الصــرف. لهذا الغرض إستخدم مبــادلات الحــامض الضعيــف مــع الفينــول بمجموعــات الكربوكسيل فى شكل الصوديوم. مياه الصرف المحتوية على المادة المعقــدة مــن الكلوريد – الزئبق تعالج بمبادل أن أيونى ضعيف القلوية فى شكل الكالســيوم مــع محتوى متبقى من الزئبق لايزيد عن ٠,٠١٥ ملجرام/لتر. يتم تنشيط المبــادل الآن أيونى بمحلول أيدروكسيد الصوديوم المحتوى على الســيانيد. مســتوى التنشــيط ٩٧%.

فى السويد، الولايات المتحدة، اليابان، المملكة المتحــدة ودول أخــرى حيــث المنشآت الصناعية التى تعمل لمعالجة مياه الصرف المحتوية على أشكال مختلفــة من الزئبق بكميات حتى ٢٠٠٠ ملجرام/لتر. الجزء الكبير من الزئبق حتى المتبقــى ٠,٣–٣٠ ملجرام/لتر يتم بعامل مساعد، بينما مرحلة التلميع تستخدم فيها مرشــحات التبادل الأيونــى حيــث يســتخدم (Sulphydril Cation Exchangers Based on Ployvinythiol And Organic And Natural Organic Sorbits) وفى ألمانيــا قبــل المعالجة بالتبادل الآيونى تتم المعالجة لمياه الصرف بترسيب الزئبــق فــى شــكل (HgS) مع الترشيح التالى خلال وسط ترشيحى من الرمل أو الكربون المنشط. مياه الصرف بعد معالجتها تتم معالجتها فى مرشحات التبادل الآيونى بالراتنجات. أقــل متبقى لتركيز أيونات الزئبــق (Hg^{++}) فــى ميــاه الصــرف هــو ٠,٠٥ – ٠,٥ ملجرام/لتر. بالنسبة لتنشيط المبادلات الآيونية واستعادة الزئبق فإنه جارى البحــث

لإستعادة الزئبق من مياه صرف مصانع إنتاج الصودا الكاوية والكلـــور باســـتخدام الزئبق، استخدام قلوى قوى مثل (Vinyl Pyridine) كمبادل آن أيونى وذلك لتنقيــــة مياه الصرف إلى محتوى متبقى حتى ٠,٠٠٥ ملجرام/لتر أو أقل.

لقد تم تطوير مادة إمتصاص جديـــدة (Amino Sulphide) والتـــى لـــها قـــوة إمتصاص عالية وإنتقاء لأيونات الزئبق حيث يتم استخلاصه مـــــن المحـــاليل ذات المحتوى المعقد من الكيماويات فى وجود الكلور النشط.

٦- الطرق الكيماوية لمعالجة مياه الصرف من الصناعات الكيماوية:

الطرق الكيماوية الرئيسية لمعالجة مياه الصرف الصناعى هى:

- التعادل Neutralization.
- الأكسدة Oxidation (وهذه تشمل عمليات كهروكيميائية).
- الأكسدة والاختزال Oxidation And Reduction.

يمكن عمل المعالجة الكيماوية قبل تدوير مياه الصرف أو الصرف على شـــبكة الصرف الصحى. كما أن المعالجة الكيماوية تستخدم كمعالجة أولية قبل المعالجــــة البيولوجية أو المعالجة الطبيعية (استخدام المصافى والترسيب). الإستخدام الآخـــــر للمعالجة الكيماوية هو كوسيلة لمعالجة مياه الصرف الصنـــــاعى بإتقـــان لغـــرض التطهير، إزالة اللون أو إستخلاص وإستعادة أنواع من المكونات.

أ- التعادل وإزالة المعادن الثقيلة *Neutralization*

معظم مياه الصرف الحامضية تحتوى على أملاح المعادن الثقيلة التـــى يجـــب إزالتها. يتم معادلة كلا من المياه الحامضية والقلوية الخارجة من عمليات الانتــــاج كمياه صرف وذلك لمنع حدوث التآكل فى محطات معالجة مياه الصرف الصحـــى

وكذلك لعدم إتلاف المعالجة البيولوجية، هذا بالإضافة إلى ترسيب المعادن الثقيلة من مياه الصرف.

تشمل أيونات المعادن الثقيلة فى مياه الصرف الصناعى أيونات الزرنيخ، الكادميوم، النيكل، النحاس، الرصاص والكروم. فى حالة المعادن فى مياه الصرف فى شكل مركبات غير عضوية فإنه يتم فصلها كراسب باستخدام لبن الجير $Ca(OH)_2$ أو الصودا الكاوية (Na OH). فى بعض الحالات تكون المعالجة أكثر كفاءة بالترسيب المزدوج باستخدام $Fe(OH)_3$، $AL(OH)_3$ أو بالترسيب ككبريتيد (Sulphides) وككبريتات (Sulphates). بعض المعادن تتطلب الأكسدة المسبقة أو الإختزال المسبق لتصبح فى الشكل القابل للترسيب، نتائج ترسيب أيونات المعادن الثقيلة من مياه الصرف موضحة فى الجدول التالى.

المعادن الثقيلة	عملية الإزالة والقيود	مستوى المعالجة المعالجة ملجرام/لتر
الزرنيخ	ترسيب الكبريتيد (رقم هيدروجينى ٦-٧)	٠,٠٥
	إدمصاص الفحم المنشط، مستويات منخفضة	٠,٠٦
الباريوم	ترسيب مشترك $Fe(OH)_3$	٠,٠٥
الكادميوم	ترسيب كبريتات الباريوم	٠,٥
	$Cd(OH)_2$، (عند رقم هيدروجينى ١٠)	٠,١
	$Fe(OH)_3$، ترسيب مزدوج عند رقم هيدروجينى ٨,٥	٠,٠٥
النحاس	$Cu(OH)_2$ الترسيب عند رقم هيدروجينى ٩-١٠,٣	٠,٢
	$Fe(OH)_3$، ترسيب مزدوج عند رقم هيدروجينى ١٠	٠,٣
الرصاص	$Pb(OH)_2$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ١٠	٠,٥
	$Pb(OH)_3$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ٨-٩	٠,٠٠١
الزئبق	$Fe(OH)_3$، $AL(OH)_3$ الترسيب المشترك يضاف Na_2S	٠,١
النيكل	$Ni(OH)_2$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ١٠	٠,١٥
السيلسينوم	ترسيب الكبريتيد عند رقم هيدروجينى ٦,٥	٠,٠٥
الزنك	$Zn(OH)_2$، الترسيب عند رقم هيدروجينى ٨,٥	٠,٠٥

وجود بعض المواد فى مياه الصرف يعيق إزالة المعادن الثقيلة بما يجعل من المعالجة المسبقة أمر ضرورى. فمثلا السيانيد والأمونيا تكون مجموعات مع المعادن الثقيلة بما يعيق ترسيبها. لذلك يتم أولا إزالة السيانيد بالكلورة القلوية (Alkaline Chlorination) أو الأكسدة باستخدام (H_2O_2) والأمونيا بالغسيل باستخدام البخار (Stripping)، الكلورة أو التبادل الآيونى.

يجب إختزال الكروم السداسى إلى الكروم الثلاثى التكافؤ قبل عملية الترسيب بالجير المطفى، يستخدم عادة للإختزال كبريتات الحديد أو ثانى أكسيد الكبريت أو (Soduirn Metabisulphate). البديل من وسائل إزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف تشمل التبادل الأيونى، الإدمصاص بالكربون المنشط المستخدم لإزالة أيونات معادن ثقيلة معينة (مثال Hg^{++}، Cr^{+6}) ومجموعات عضوية للمعدن.

جدول كفاءة الإزالة للمعادن الثقيلة باستخدام تقنيات مختلفة:

المعدن	التقنية	نسبة الإزالة
الزرنيخ (الخماسى)	الترسيب بالجير المطفى، الشبه أو الحديد	< ٩٠%
	الألومنيوم المنشط	< ٩٥%
	التبادل الأيونى أو التناضخ العكسى	> ٩٠%
الباريوم	الترسيب بالجير – رقم هيدروجينى ١١	> ٩٥%
	التبادل الأيونى	< ٩٠%
	التناضح العكسى	< ٩٥%
الكادميوم	الترسيب بالجير	< ٩٠%
	التبادل الأيونى أو التناضح العكسى	< ٩٠%
الكروم الثلاثى	الترسيب بالجير	< ٩٠%
	الترويب بالشبه أو الحديد	٩٠ – ٩٨%
	التبادل الأيونى	> ٩٠%
	التناضح العكسى	< ٩٠%

المعدن	التقنية	نسبة الإزالة
النحاس	الترسيب بالجير	< ٩٠%
	التبادل الأيونى	> ٩٥%
	التناضح العكسى	< ٩٥%
	الترويب بالشبه	< ٥٠%
الكروم السداسى	الترويب بالحديد	< ٩٠%
	التبادل الأيونى	> ٩٠%
	التناضح العكسى	< ٩٠%
الرصاص	الترويب بالشبه أو الحديد	< ٩٥%
	الترسيب بالجير	< ٩٧%
	التبادل الأيونى أو التناضح العكسى	> ٩٥%
الزئبق	التبادل بالجير (pH > 10,0)	> ٩٠%
	حبيبات الفحم المنشط	< ٩٥%
	التناضح العكسى	> ٨٥%
النيكل	الترسيب بالجير والترشيح	٨٨ – ٩٨%
سيلينيوم رباعى	الترسيب بالجير	> ٥٠%
	الومينا منشطة	< ٩٥%
	التناضح العكسى	٧٥ – ٩٥%
الزنك	الترسيب بالجير (pH-10) والترشيح	< ٩٩%

ب- إزالة النيتروجين من مياه الصرف:

يوجد النيتروجين فى مياه الصرف فى شكل الأمونيا، أملاح الأمونيا، النترات. يزال النيتروجين بطريقة التجريد (Stripping) فى حالة الأمونيا وأملاح الأمونيا أما فى حالة النترات فتكون الإزالة بطريقة التبادل الأيونى، التحليل الكهربى (Electrolysis) وتقنيات أخرى بما فيها الطرق البيولوجية.

عملية التجريد أو خروج الأمونيا من مياه الصرف تبنى على أساس تحلل إيدروكسيد الأمونيا فى مجال مائى عالى القلوية (حيث تضاف الصودا الكاوية أو لبن الجير $Ca(OH)_2$ لرفع الرقم الهيدروجينى إلى ١٠,٥ - ١١) عندئذ يتكون غاز النشادر طبقاً للمعادلة،

$$NH_4OH \longrightarrow NH_3 + H_2O$$

وهذا الغاز يمكن طرده مع الهواء الجوى. فى الاتحاد السوفيتى تتم إزالة ٩٠% من الأمونيا فى أبراج إزالة الغازات (Degasifier) ذات الحشو الخشبى أو فى أبراج التبريد. أما فى أمريكا فإن عملية تجريد مياه الصرف من الأمونيا تتم فى أبراج التبريد حيث تكون كفاءة الإزالة بنسبة ٥٠ - ٩٠% وذلك طبقاً للظروف ذلك لأن التكاليف تكون أعلا بنسبة ٣٠% مقارنة بطريقة إزالة الأمونيا بالطرق البيولوجية.

لإزالة النيتروجين فى شكل الأمونيا، يكون المناسب عمليا إستخدام مرشحات التبادل الأيونى، بما فيها الترشيح خلال الزيوليت الطبيعى حيث يمكن إزالة من ٩٠-٩٥% فى شكل الأمونيوم. مرشحات الزيوليت يتم تنشيطها من آن إلى آخر باستخدام إيدروكسيد الصوديوم أو ملح الطعام عند رقم هيدروجينى مرتفع، ثم الغسيل بالماء. كذلك يمكن تجريد مياه الصرف من الأمونيا فى شكل كبريتات الأمونيا بعد التعادل باستخدام حامض كبريتيك. استخدام مرشحات الزيوليت تمكن من الإزالة الجيدة للنيتروجين من مياه الصرف ولكن تكاليف المعالجة تزيد بنسبة ٥٥% مقارنة بالمعالجة البيولوجية.

يمكن إزالة الأمونيا من مياه الصرف بالكلورة حيث تتأكسد إلى غاز النيتروجين، حيث كذلك المونو والداى كلورامين والذى يتطلب كمية كبيرة من الكلور والذى تصل نسبته إلى الأمونيا ٨ - ١٠:١ وذلك لخفض تكون

الكلورامين. يتم المحافظة على الرقم الهيدروجينى عند ٧ وذلك لخفض تكون النترات والتراى كلوريد. فى حالة توفر هذه الظروف فإن إزالة النيتروجين تكون ما بين ٩٠ - ١٠٠%.

جـ- إزالة الفوسفور من مياه الصرف:

المنظفات الصناعية هى المصدر الرئيسى للفوسفور فى مياه الصرف. من بين الطرق المختلفة لإزالة الفوسفور المعالجة البيولوجية هى الأكثر تأثيرا حيث تتم فى أحواض التهوية. بعد التعامل فى أحواض التهوية وأحواض الترسيب الثنائية، فإنه يمكن إزالة الفوسفور المتبقى بالمعالجة بالمواد الكيماوية من أملاح كبريتات الألومنيوم، الحديد، الكالسيوم. عند استخدام كبريتات الألومنيوم للإزالة الكيماوية / البيولوجية للفوسفور فإن كمية المادة الكيماوية المستخدمة تكون بنسبة الومنيوم ١,٥ إلى ١ من الفوسفور مع رقم هيدروجينى ما بين ٥.٥ - ٦. يمكن عندئذ خفض المحتوى من الفوسفور إلى ٠,٣ - ٠,٧ ملجرام/لتر. خاصية الترويب لكبريتات الألومنيوم توفر معالجة جيدة، كما يمكن أن تتم العملية بعد المعالجة البيولوجية وقبل الترسيب فى أحواض الترسيب الثنائية.

كما أن استخدام كبريتات الحديد يعتبر عالى الكفاءة لإزالة مركبات الفوسفور من مياه الصرف حيث تكون نسبة الحديد إلى الفوسفور هى ٥:٢ وعند أقصى رقم هيدروجينى ٥. نظراً لأن المعالجة البيولوجية تتم فى المجال المتعادل عند رقم هيدروجينى ٧، فقد تتكون رواسب هلامية عند استخدام هاتين الطريقتين معا، يمكن الترويب باستخدام البلمرات. يمكن ترسيب أملاح الفوسفات باستخدام لبن الجير (Lime) فى شكل الهيدروكسى أباتيت (Hydroxy Apatite) عند رقم هيدروجينى ٩-١٠.

د- الأكسدة Oxidation

تستخدم الأكسدة لمعالجة مياه الصرف الصناعى المحتوية على ملوثات سامة مثل السيانيد أو المحتوية على مركبات عضوية مذابة والتى لا تتأكسد بالطرق البيولوجية.

للتخلص من المواد السامة بالأكسدة فإن مواد الأكسدة الأكثر استخداما هى برمنجنات البوتاسيوم والأوزون و ثانى أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) وطبقا لمادة الأكسدة المستخدمة و التركيب الكيماوى للملوثات العضوية فإن الأكسدة يمكن أن تكون تامة (إلى ثانى أكسيد الكربون والماء) أو قد تتوقف عند مرحلة متوسطة حيث فى هذه الحالة تستخدم الاكسدة كمعالجة مسبقة لتحويل المركبات العضوية لتكون قابلة للأكسدة البيولوجية (Biodegradable).

الأكسدة الكهروكيميائية مناسبة للاستخدام فى معالجة الملوثات العضوية وغير العضوية المركزة حيث يكون حجم مياه الصرف المعالج قليلاً. التحلل الكهربى (Electrolysis) أثناء عملية الأكسدة الآنودية تسبب تكسير المواد العضوية حتى تتكون نواتج أكسدة نهائية أو وسيطة (أحماض عضوية، ثانى أكسيد الكربون والماء). لذلك فإنه يوصى باستخدامها فى معالجة مياه الصرف المحتوية على مواد الصبغات وكذلك للمعالجة المسبقة لأنواع معينة من الصرف وهذه الطريقة تستخدم فى موقع محطة معالجة المصانع الكيماوية ومصانع البتروكيماويات والورق ولب الورق والمصانع الأخرى حيث تحتوى مياه الصرف بها على الفينولات والسيانيدات، المركبات النيتروجينية، السلفيد، الأمينات، الكيتونز، الكحولات المعدنية وصبغات الآزو.

(Phenols, Cyanides, Nitrous Compoounds, Sulphides, Amines, Ketones, Aldhydes, spirits, and Azodyes)

تكنولوجيا التحليل الكهربية مناسبة فى حالة الأحجام الصغيرة لمياه الصرف.

٧- تكنولوجيا الغشاء لمعالجة مياه الصرف: (Membrane Technology) ملحق (ز)

التقنية الواعدة للمعالجة الدقيقة لمياه الصرف هى تكنولوجيا الغشاء، والتى تحقق الفصل الجيد للمواد المختلطة. تستخدم تكنولوجيا الغشاء لمعالجة مياه الصرف التى تحتوى على مواد ذات نشاط إشعاعى أو مواد ذات نشاط بيولوجى. وهى تستخدم فى الصناعات الكيماوية كمعالجة إضافية أو تكميلية للبخار المكثف ولمعالجة وتركيز المحاليل ومياه الصرف.

فى قلب معدات الفصل الغشائى توجد الأغشية الشبه نفاذة (Semi-permeable Membrane) والتى تحدد بدرجة كبيرة الظواهر التكنولوجية والخواص الفنية وخواص التشغيل للمعدة.

الغشاء الشبه نفاذ عبارة عن حاجز (شبه مسامى) له خواص النقل التفضيلى (Selective) لمكونات معينة لخليط السائل أو الغاز. تصنع هذه الأغشية الشبه نفاذة من عدة بلمرات مختلفة ومن مواد الزجاج والسيراميك. أهم خاصية يلزم توفيرها فى الغشاء الشبه نفاذ هى القدرة العالية على الفصل للمكونات، النفاذية العالية لتحقيق أقصى إنتاج، المقاومة العالية للتحلل بالبخار، الثبات خلال فترة زمنية طويلة، القوة الميكانيكية لمقاومة الإنشاء، والنقل والتخزين والثبات الحرارى وإنخفاض التكاليف.

تستخدم البلمرات الآتية فى معالجة مياه الصرف الصناعى:

مشتقات السيليلوز (Mono, Di, Tri Acetate)، البولى آميد (Poly Amides)، (Laromatics)، (Co-Poly Amides) (Pol Amide - Hydrazides)، (Polytetra Flouro Ethylene)، (Poly Olefines)، (Polyimides). تتوقف عملية الفصل الغشائى على خواص الغشاء، تدفق السائل، القوة الدافعة.

القوة المسببة لعمليات الفصل الغشائى هى الفرق فى الضغط الهيدروستاتيكى، التركيزات المختلفة للمواد، الفرق فى فرق الجهد. تنقسم تقنيات الفصل الغشائى إلى الأنواع الآتية:

- الميكروفلتر (Microfilteration):

حيث يستخدم الغشاء لفصل المحاليل الهلامية والعالقة تحت الضغط.

- الترشيح الفائق (Ultra Filteration):

حيث يستخدم الغشاء لفصل المخلوط فى السائل تحت الضغط، المبنى على الوزن الجزيئى أو الحجم بين المكونات.

- التناضح العكسى (Reverse Osmosis):

يستخدم الغشاء لفصل المحاليل السائلة بواسطة إختراق المذيب للغشاء الشبه نفاذ تحت الضغط الذى يزيد عن الضغط الأسموذى.

- الديلزة الكهربية (Electrodialysis):

حيث تسمح التقنية بأيونات المادة المذابة (Solute) خلال الغشاء وتحت تأثير المجال الكهربى.

الميكروفلتر (Microfilteration):

فى الميكروفلتر يستخدم غشاء بحجم المسام من ٠,١ – ١ ميكروميتر. القوى الدافعة هى الضغط الهيدروستاتيكى (ما بين ٠,٠١ إلى ٠,١ MPa). المرشحات تكون فى خرطوشة عبارة عن نظام أفقى متطابق أو الأكثر استخداما مرشح ضغط مركب على إطار وخاصة فى الاستخدامات الصناعية. يستخدم الميكروفيلتر على نطاق واسع لفصل المواد العالقة والمستحلبه (Suspension and Emulsions) لتنقية مياه الصرف والحصول على محاليل معقمة. عادة يلى عملية الميكروفلتر الترشيح الفائق (Ultrafilteration) والتناضح العكسى حيث يكون الميكروفلتر عملية تحضيرية.

التر شيح الفائق: (Ultrafilteration)

يستخدم الترشيح الفائق أغشية لفصل المحاليل ذات الضغط الأوسموزى المنخفض-حيث يستخدم لفصل المواد ذات الوزن الجزيئى المرتفع وكذلك العالقة والهلامية، وهو مرتبط بفصل وتقطير وتركيز المحاليل. القوة الدافعة هى الضغط الهيدروستاتيكى (مابين ٠,١ - ١ MPa). يستخدم لذلك أغشية ذات تركيب ميكرونى غير متشابه ويتراوح قطر المسام ما بين ١ إلى ١٠ مليميكرون.

أحد الاستخدامات الصناعية الهامة للترشيح الفائق هو لفصل مستحلبات الزيت والماء. مياه الصرف ذات المحتوى الأولى من تركيز الزيت ٥ - ١٠ ملجرام/لتر تفصل بمعدات الغشاء إلى المرشح والمركز. المرشح (Filterate) بتركيز الزيت حتى ٤٠ ملجرام/لتر يعود ثانياً إلى إمدادات المياه أو يعاد تنقيته، المركز (Conecentrate) بتركيز ٤٠-٥٠ ملجرام/لتر من الزيت يعود إلى المرحلة الثانية لفصل الزيت أو يتم حرقه. نظراً للترشيح السطحى وقوة مواد الغشاء، فإن الترشيح الفائق يمكنه فصل المحاليل بدون فقد وإنتاج سائل مرشح نظيف.

عادة يستخدم الترشيح الفائق لإزالة المواد الشعرية (Fibrous) والحبيبات (Partieles) من السائل المرشح بعد مروره خلال المرشحات من الشعيرات أو من الحبيبات فى نظم التبادل الأيونى والإدمصاص.

مجال الاستخدام للترشيح الفائق ينمو باضطراد نظراً للقدرة على استخلاص مكونات ثمينة من مياه الصرف والتى يصعب أو يستحيل إزالتها.

أغشية السيليلوز أسيتيت والبولى آميد الأروماتية هى المستخدمة على نطاق واسع (Cellulose Aeetate And Aromatic Polyamide) أغشية مشتقات السيليلوز مقاومتها ضعيفة للأحماض والقلويات، تعمل جيداً فى مجال رقم هيدروجينى من ٤,٥ - ٥. العمر الإفتراضى للسيليلوز أسيتيت يتحول إلى النصف عند رقم

هيروجينى ٦. أغشية السيليلوز أسيتيت لاتقاوم المذيبات العضوية والمواد النشـطة التى تسبب إنتفاخها. بالإضافة إلى العلاقة ما بين الجزيئى، حجم الحبيبـات، قطـر المسام فإن إنتقاء الغشاء (Membrane Selectivity) يتأثر بالتفاعل بين المادة المذابة ومادة الغشاء. لذلك فإن الملوثات البترولية يمكن إزالتها من مياه الصرف بالترشـيح الفائق عند طرد جزئيات الكربوهيدريت غير المحب للماء (Hydrophobic) بواسطة أغشية السيليلوز أسيتيت الأيونية والمحبة للماء (Hydrophilic, Polar) بمسام أكـبر من حجم الجزئيات للمواد المطرودة.

تكنولوجيا الفصل على المستوى الصناعى بالأغشـية الشـبه نفـاذة تسـتخدم تجهيزات غشاء من عدة أشكال من حيث المعدات التـى تحمـل عمليـة الفصـل الغشائى. طبقا لتنظيم الأغشية فإن النماذج (Modules) للفصل بالترشـيح الفـائق وكذلك التناضح العكسى تنقسم إلى أربع أنواع رئيسية وهى:

- مرشح الضغط بالإطار المستوى (Flat Frame Filter Press).
- الأنبوبى (Tubular).
- اللفائف الجيلاتينية (Jelly - Roll).
- الشعيرة الجوفاء (Hollow - Fibre).

تصميمات وحدة الغشاء (Membrane Module) يمكن تصنيفه حسـب توزيـع تدفق السائل المعالج، ضغط التشغيل، الاستثمارات، وتكاليف التشغيل.

الاستخدام الرئيسى للترشيح الفائق هو لإزالة المنتجات البتروليـة المسـتحلبه والزيوت من مياه الصرف، لتركيز المسحلبات الزيتية فـى مختلـف الصناعـات ولتركيز مياه الصرف من صناعة تبييض الورق ولب الورق. وكذلـك لإسـتعادة الكيماويات من محلول الصرف فى عمليات دباغة الجلود، لفصل وتنقيـة وتركـيز

مكونات مختلفة فى صناعات الميكروبيولوجى، الصناعات الدوائية والصناعات الأخرى.

يستخدم الترشيح الفائق لإزالة الحبيبات الهلامية من المحاليل المائية قبل التناضح العكسى، الديلزة الكهربية والتبادل الأيونى، وكذلك لتنقية المياه بعد التبادل الأيونى. وهذا يوفر سلسلة تكنولوجية عالية الكفاءة حيث الإمداد بالمياه المقفلة (Closed Water System) مع إستعادة المنتجات الثمينة فى العملية الصناعية فى الشكل المركز.

من بين تجهيزات الترشيح الفائق توجد التجهيزة على الإطار المستوى حيث عناصر الغشاء المستطيلة والتى تصل مساحتها إلى ٢٨,٥ متر مربع. تستخدم التجهيزات لتركيز المحاليل المخمرة أو لتنقية مياه الصرف المحتوية على المواد العضوية ذات الوزن الجزيئى العالى. كما تستخدم لإزالة المواد العضوية ذات الحبيبات المتناهية فى الصغر (هاليدات الفضة، الخمائر، الجيلاتين... الخ) من مياه الصرف لصناعة أفلام التصوير التى تحتوى على الفضة. تزود التجهيزة بمرشحات فائقة أنبوبية محتوية على أغشية من الفلوروبلاست (Flouroplast) بمسطح ترشيحى كلى ١٢٠ متر مربع. معدل إسترجاع الفضة (هاليدات الفضة) وبعض المواد العالقة الأخرى هو ١٠٠%. فى وحدة ترشيح فائق تجريبية بطاقة ٥ متر مكعب فى الساعة استخدمت لإزالة الفلوروبنزين (Flouro Benzene). الترشيح الفائق يتطلب طاقة صغيرة جداً وله عدة مميزات عن باقى الطرق. فمثلا التنقية بالترشيح الفائق ذات كفاءة أعلا من الترويب الكهربى (Electro-Coagulation)، حيث يزال ٤٠-٧٠% من المواد العضوية مقابل ٥٠-٦٠% باستخدام الترويب الكهربى، ٧٠-٩٠% من هلاميات أملاح الحديد ويحجز ٩٩,٩% من الحبيبات الميكرونية أكبر من ٠,٥ مليميكرون.

التناضح العكسى (Reverse Osmosis):

التناضح العكسى هو عملية مستمره لفصل الجزئيات من المحــاليل بالترشــيح تحت الضغط خلال غشاء شبه نفاذ والذى يحجــز كــل أو بعــض الجزئيــات أو الأيونات للمادة المذابة للفصل الجيد فإن ضغط التشغيل يجب أن يكون ما بيــن ٠,١ – MPa1 فوق الضغط الأوسموزى للمادة الملحية المذابة لتركيزات ملحية من ٢ – ٥ جرام/لتر، ٥ – ١٠ MPa لتركيزات ملحية أعلا من ٢٠ – ٣٠ جرام/لتر.

الميزة الواضحة للتناضح العكسى عن كل طرق المعالجة هو أنه يزيل فــوراً الملوثات العضوية والغير عضوية، وهذا له أهمية عملية فى نظم تدويــر الميــاه. التناضح العكسى يمكنه إنتاج مياه عالية النقاء، نظراً لأن الأغشية يمكن أن تحجــز كل المواد المذابة المعدنية والعضوية والمواد العالقة بما فيها الفيروسات والبكتريــا وجميع الكائنات الحية الصغيرة من جميع الأنواع. تستخدم هذه التقنية على نطــاق واسع لمعالجة المياه فى الاستخدامات الصناعية.

الأغشية المستخدمة فى التناضح العكسى يجب أن توفر المتطلبات الآتية:

- مسامية ذات قوة عالية وتفضيلية (إنتقائية).
- القدرة على تحمل التغيرات الكبيرة فى الضغط على كلا جانبى الغشاء.
- القدرة على مقاومة التغيرات فى درجات الحرارة.

تختلف مواد الصنع للغشاء وكذلك التصميمات لأجــهزة التنــاضح العكســى. الأغشية الشائعة الاستخدام هى أغشية أسيتات السيليلوز ذات الطبقة المستوية (Flat-Film)، أغشية البولى آميــد ذات الشــعيرة الجوفــاء (Hollow-Fibre). أســيتات السيليلوز المستخدمة فى الإتحاد السوفيتى (روسيا الاتحادية) لها الخواص التالية:

المسامية الكلية ٧٥%، النفاذية للماء عند (5 MPa) ١٥٠ - ٥٠٠ لتر/المتر المربع/اليوم نسبة الحجز للأملاح ٨٠-٩٥%.

تركيز ومكونات المحلول والرقم الهيدروجينى كليهما له تأثير على عملية الفصل فى التناضح العكسى. التغيرات فى التركيز تؤثر على الضغط الأسموزى، والذى بالتالى يحدد القوة المؤثرة لسير العملية وإنتاجية الغشاء. إستخدام أنواع مختلفة من نماذج الأغشية فى أجهزة الضغط الأسموزى (مثل الطبقة المستوية، الأنبوبية، الشعيرة الجوفاء، اللفائف الجيلاتينية تسمح بالاستخدام الجيد للتناضح العكسى على المستوى الصناعى.

يتميز التناضح العكسى عن كل تقنيات المعالجة لمياه الصرف من الصناعات الكيماوية حيث يستخدم عادة لتركيز مياه الصرف المحتوية على المذيبات العضوية، مياه غسيل السيليلوز، سائل السلفيد، كذلك إستعادة الفضة، كربونات الصوديوم، كبريتات الصوديوم، حامض الفوسفوريك، من مياه الغسيل فى عدة مصانع كيماوية.

لقد إستخدم التناضح العكسى فى الصناعات الكيماوية لإزالة الملوحة من مياه الصرف، مثل أملاح الصوديوم، الزنك، النحاس، الالومنيوم، الأحماض والقلويات. الإتجاه إلى إعذاب المياه المالحة بالتناضح العكسى يرجع إلى بساطة الجهاز المستخدم، طاقة التشغيل الصغيرة، التكاليف الرأسمالية المنخفضة نسبياً. مقارنة للتكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل لإعذاب المياه فى الولايات المتحدة بالطرق المختلفة كما يأتى حيث التكاليف بالدولار للتر فى اليوم.

التكاليف	التقطير الحرارى	الديلزة الكهربية	التناضح العكسى
وحدة التكاليف الرأسمالية	٠,٥٨ - ٠,٣٣	٠,٢ - ٠,١٣	٠,٢٤ - ٠,٠٩
وحدة تكاليف التشغيل	٠,٧٩ - ٠,٧٧	٠,٣٢ - ٠,١٧	٠,٣٣ - ٠,٢٤

الديلزة الكهربية: (Electrodialysis)

الديلزة الكهربية هى عملية فصل أيونات المادة الأيونية المذابة. يتم الفصل فى جهاز الغشاء تحت تأثير تيار كهربى ثابت. الاستخدام الرئيسى لهذه الطريقة فى معالجة مياه الصرف فى الصناعات الكيماوية هو لتنقية مياه الصرف عالية التركيز بالأملاح.

فى الديلزة الكهربية تستخدم أغشية تبال أيونى (على قاعدة من البى فى سى (PVC) أو من البولى سلفونيت (Polysulphonates)، أو من البولى إيثيلين فى شكل طبقات من البلمرات متجانسة أو ذات مسام ميكرونية (Microporous). القوة الدافعة للعملية هى الفرق فى الجهد الكهربى. تصنع الأغشية كمسطح مستطيل مرن أو فى شكل لفائف جيلاتينية من البوليمر الثيرموبلاستك كقاعدة (أساس) وبودرة راتنج تبادل أيونى.

أغشية الديلزة الكهربية يمكن تقسيمها حسب أنواع الأيونات التى تنقلها إلى كاتأيونية، آن أيونية، مزدوجة القطبية (Dipolar) والتى تتكون من طبقات كاتأيونية وآن أيونية ومختلطة (Amphoteric) أى تحتوى على مجموعات قلوية وحامضية.

جهاز الديلزة الكهربية يعمل بتبادل أغشية كاتأيونية وآن أيونية لتكوين فراغات ملحية وغير ملحية (مخففة). كثيرا جدا من هذه الفراغات تعمل بالتوازى (١٠٠-٢٠٠). حاليا يوجد نوعين من أجهزة الديلزة الكهربية وهما الأجهزة المدمجة والمتشعبة فى مصفوفات. الطاقة ما بين ١-٢٥ متر مكعب فى الساعة. الإختلاف بينهما هو فى إتجاه محور المجال الكهربى (أفقى فى أحد الحالات، عمودى فى الأخرى). عمليا كل أجهزة الديلزة الكهربية تستخدم أقطاب (Electrodes). التصميمات التكنولوجية لإنشاء أجهزة الديلزة الكهربية هى عموما من نوعين وهما:

- ذات التدفق المستمر.

- والتدوير حيث تعود بعض المياه التى لم يتم إزالة ملوحتها تماما إلى الجهاز للمعالجة مع المياه الداخلية الخام.

إختيار التصميم يتوقف على عدة معايير منها طاقة الانتاج، المحتوى من الأملاح، مكونات المياه المعالجة. فمثلا فى حالة زيادة الصرف عن ٣٠٠ – ٥٠٠ متر مكعب فى الساعة يستخدم تصميم التدفق المستمر. أقصى تركيز للأملاح يكون من ٣ – ٨ جرام/لتر. أجهزة الديلزة الكهربية مؤثرة جداً فى معالجة كميات صغيرة من مياه الصرف ذات التلوث العالى.

إستخدمت الديلزة الكهربية لمعالجة مياه الصرف من مختلف المصانع الكيماوية. فعند ٤ فولت، ٠,١ إلى ٠,٤ أمبير يمكن لهذه الأجهزة إزالة الأملاح بنسبة ٩٨,٥% وكذلك الإزالة للملوثات العضوية بنسبة ٨٠,٦% فى نفس الوقت. هذه العملية يمكن أن تعيد ١٣٥,١ × ١٠^{٣} متر مكعب من المياه النقية فى العام إلى دورة التصنيع (من مياه الصرف وكذلك إستعادة ثلاث آلاف طن من كبريتات الصوديوم كسلعة للبيع).

بالإضافة إلى معالجة مياه الصرف الصناعى بالطرق السابقة فإنه تستخدم طرق أخرى مثل التبخير (Evaporation)، البلورة (Crystalization)، الاستخلاص باستخدام المذيبات العضوية (وذلك عندما تحتوى مياه الصرف على كميات كبيرة من المواد العضوية المذابة ذات القيمة الثمينة)، التقطير والتنقية للملوثات المذابة باستخدام تجريدها بالبخار أو الهواء.

٨- الطرق البيلولوجية لمعالجة مياه الصرف:

تستخدم المعالجة البيولوجية لإزالة الملوثات العضوية من مياه الصرف الصناعى. المعالجة البيولوجية التقليدية هى الأكثر تأثيراً من ناحية كفاءة إزالة الملوثات العضوية وكذلك من الناحية الاقتصادية وذلك عند تطابق مستوى المحتوى

من الملوثات فى الماء مع معايير الصرف الصناعى على شبكة الصرف الصحى طبقاً لقانون البيئة ٩٤/٤. الطرق البيولوجية بعد المعالجة المسبقة والمعالجة الأولية توفر التنقية التامة لمياه الصرف حيث يمكن إزالة حتى ٩٠% من الاكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5). تعتمد هذه الطريقة على قرة الكائنات الحية الدقيقة فى التغذية على المواد العضوية فى مياه الصرف وتحويلها إلى ثانى أكسيد الكربون وبعض نواتج الأكسدة الأخرى الغير ضارة. يتوقف تأثير المعالجة البيولوجية على عدة عوامل، بعضها يمكن التحكم فيه وبعضها يصعب التحكم فيه مثل مكونات مياه الصرف الصحى.

العوامل الرئيسية التى تحدد طاقة المعالجة ودرجة التنقية لمياه الصرف تشمل درجة الحرارة، نشاط التفاعل، المحتوى من العناصر البيولوجية، المحتوى من الأكسجين، التأثيرات السامة من بعض الملوثات العضوية وغير العضوية. أفضل درجة حرارة للمعالجة البيولوجية هى ما بين ٢٠ – ٣٠°م عندما تكون باقى العوامل مناسبة، كما يجب أن يكون المحتوى من الكائنات الحية الدقيقة بحالة جيدة وبالقدر المناسب، كما أن الرقم الهيدروجينى عامل حاسم فى تكاثر ونمو الكائنات الدقيقة. تكون المعالجة البيولوجية مؤثرة جداً فى حالة الرقم الهيدروجينى لسائل الصرف ما بين ٥-٩، كما أن الرقم الهيدروجينى من ٦,٥ – ٧,٥ هو الأفضل. أما فى حالة وجود الرقم الهيدروجينى ودرجة الحرارة فى غير القيم المسموح بها والمناسبة، فإنه يجب ضبطهما فى مياه الصرف عند معالجتها بالطرق البيولوجية.

لتوفير تكون مادة الخلية للكائنات الدقيقة وبالتالى لتوفير المعالجة المؤثرة لمياه الصرف، فإن المجال يجب أن يحتوى على التركيزات المناسبة من المواد الغذائية الرئيسية وهى الكربون العضوى فى شكل (BOD)، النيتروجين والفوسفور، كما أن العناصر الأخرى (مثل المنجنيز، النحاس، الزنك، الكالسيوم، الصوديوم... الخ) تكون موجودة عادة فى مياه الصرف (كما فى حالة المياه الطبيعية) بكميات كافية لتحقيق متطلبات تكاثر ونمو البكتريا. ولكن عادة لايوجد ما يكفى من النيتروجين

والفوسفور (كما فى حالة مياه الصرف من الصناعات البترولية) حيث تضاف هـذه المـواد فـى شـكل سـوبر فوسـفيت (Super Phosphate)، أورثوفوسـفيت (Orthophosphate)، أورثـو حامض الفوسفوريك، كبريتـات الأمونيـا، نـترات الأمونيا أو كلوريد الأمونيا أو اليوريا.

فى النظام البيولوجى الهوائى حيث الامداد بالهواء (أو بالأكسـجين النقـى أو بالهواء الغنى بالأكسجين) يجب أن يؤكد الوجود المستمر للأكسجين المذاب فى مياه الصرف (الخليط) بما لايقل عن ٢ جزء فى المليون. المواد العضوية والمواد غـير العضوية يمكن أن يكون لها تأثير سام على العمليات البيولوجية بمـا يعيـق نمـو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة أو قتلها. معظم المواد لها تـأثير حسـب مسـتويات تركيزها فى الخليط الجارى معالجته. أحد أهم التحديات هو تحديد أقصـى تركـيز مسموح به (MPC - Maximum Permissible Concentration) لمركبات كيماويـة منفردة وتعيين تأثيرات مواد الخليط الموجودة فى مياه الصرف الجارى معالجتـها. المقصود بأقصى تركيز مسموح به (IMPC) هو أقصى تركيز للمواد السامة فـى المياه حيث لا يشكل عدم كفاءة التشغيل للنظام البيولوجى، كما لا يحدث أى رغاوى ولا يحدث تغيير فى إذابة الأكسجين، والذى فى حالة زيادته يحدث تأثيرات سـالبة على الأكسدة البيولوجية ونمو الخلايا.

المواد غير العضوية ذات أدنى تركيز هى:

- إيثيل الرصاص الرباعى (Tetra Ethyllead) بتركيز ٠,٠٠١ ملجرام/لتر.
- مركبات البريليوم، التيتانيوم، الزئبق، الكـروم السداسـى، ثـانى أكسـيد الكربون (٠,٠١ ملجرام/لتر)، مركبات البورون (٠,٠٥ ملجرام/لتر).

أقل المواد سمية هى أملاح الصوديوم، الليثيوم والمغنسيوم والتى ليس لها تأثير عند وجودها فى الماء حتى مستويات ١٠ جرام/لتر.

المواد العضوية ذات مستوى منخفض نسبيا بالنسبة لأقصى تركيز مسموح بـه حتى ٢٥ ملجرام/لتر تشمل المنظفات الصناعية والمواد الوسيطة والصبغات حيـث

تتغير تركيزاتها طبقا لظروف التشغيل فى محطة المعالجة وخاصة عنـــد تركــيز الحمأة.

معظم المواد العضوية يمكن أن تتأكسد هوائيـــا بمســاعدة الكائنـــات الحيـــة الصغيرة. وهذه العملية تتوقف على توافق النظام البيولوجى، حيـــث أن الكائنـــات الدقيقة المستخدمة فى المعالجة غالبا لاتتعامل فوراً مع أنواع جديدة من الملوثـــات الصناعية وخاصة إذا إختلفت كثيراً فى مكوناتها عن تلك الطبيعة. يوجد عدد كبــير من المواد التى يمكن إعتبارها لاتتأكسد بيولوجيا عند معالجة مياه الصرف، ولكـــن هذا لا يعنى أن الأكسدة البيولوجية مستحيلة كلية حيث عادة يمكن أن تحدث الأكسدة البيولوجية ولكن بمعدل بطئ جداً بما يتطلب فترة تأقلم طويلة، ولكن عملياً لا تحدث الأكسدة البيولوجية فى ظروف التشغيل العادية فى محطة المعالجة.

المواد التى تتأكسد بيولوجيا والمركبات العضوية التى تقـــاوم الأكســـدة هـــى كالآتى:

المواد العضوية التى تتأكسد بيولوجيا*	المواد العضوية التى تقاوم الأكسدة البيولوجية
▪ Acrylic Acid ▪ Aliphatic Acids ▪ Aliphatic Alcohols ▪ Normal, Iso, Secondary Aliphatic Aldhydes ▪ Alkyl Benzene Sulphonates (Partially) ▪ Aromatic Amines ▪ Dichlorophenols ▪ Ethanol Amines ▪ Glycols, Ketones ▪ Methylacrylic Acid ▪ Monochlorophenols, Phenoles, Nitriles. ▪ Primary Aliphatic Amines. ▪ Styrene ▪ Vinyl Acetate ▪ Aromatic Hydrocarbons with one or two Substituents	▪ Ethers ▪ Ethylene Chlorohydrin ▪ Isoprene ▪ Methyl Vinyl Ketone ▪ Morpholin ▪ Polymers ▪ Polypropyl Benzene Sulphonates ▪ Tertiary Aliphatic Alcohols, Sulphonates ▪ Trichlorophenols ▪ Other Hydrocarbons (Aliphatic, Aromatic, Alkyl - Aryl groubs) ▪ Aromatic Compounds with three and More Substituents

* بعض هذه المواد بتحلل بيولوجيا فقط بعد فترة زمنية طويلة من التأقلم.

تم عمل دراسات بحثية كثيرة لتقييم المعالجة البيولوجية طبقاً للتركيب الكيماوى للمادة. فقد وجد أن، كمثال – الكحوليات الأولية (Primary Alcohols) تتأكسد بسهولة أكثر من الكحولات الثنائية، الكحولات الثنائية (Secondary Alcohols) أكثر سهولة عن الثلاثية (Tertiary). كما وجد أنه كلما زادت درجة التشعب (Branching) للسلسلة الكربونية، كلما زادت المقاومة للأكسدة البيولوجية. كلما زادت عدد ذرات الكلور فى الجزيئ كلما إنخفضت سرعة الأكسدة وكلما زادت السمية للمركب. لهذا، فإن المركبات ذات ذرات من الكلور حتى ذرتين يمكن إزالتها من مياه الصرف بالمعالجة البيولوجية وعند وجود ذرتين كلور حتى أربع ذرات من الكلور فى الجزيئ فإن الأكسدة البيولوجية يجب أن يسبقها معالجة بالكربون المنشط. المركبات التى بها أكثر من أربع ذرات من الكلور عادة ليست قابله للتحلل البيولوجى كما يجب معالجتها بالكربون المنشط. بالنسبة للمعالجة البيولوجية توجد كذلك صعوبة المشكلة فى تحديد مكونات المواد الوسيطة والمنتجات النهائية الناتجة عن الأكسدة البيولوجية للمواد العضوية. نظراً لأن الأكسدة فى محطات المعالجة ليست دائما تامة (إلى ثانى أكسيد الكربون والماء)، حيث تظهر مواد فى الماء بعد المعالجة البيولوجية والتى لم تكن موجودة فى الماء قبل المعالجة، وهذه المواد قد تكون أحيانا أكثر سمية عن الملوثات الأصلية قبل أكسدتها. لذلك يجب عمل الدراسات والأبحاث فى هذا المجال لتعيين تأثيرات المعالجة البيولوجية على سمية المياه.

أحد الطرق الواعدة والمؤثرة هو إستخدام الكائنات الدقيقة القادرة على تحلل المواد العضوية السامة والتى يصعب تحللها بيولوجيا عند معالجة مياه الصرف عالية التركيز. مياه الصرف الصناعى يمكن أن تعالج بيولوجيا فى ظروف طبيعية أو صناعية. طريقة المعالجة بالتربة حيث الخليط المعقد من المواد العضوية وغير العضوية مع عدد كبير من الكائنات الحية الدقيقة ذلك لأن التربة لها القدرة على

تحويل مياه الصرف إلى الحالة الغير ضارة. معالجة التربة تستخدم بنسبة قليلة جـدا مقارنة بالطريقة الصناعية للمعالجة البيولوجية، حيث يمكن معالجة مياه الصـــرف الصحى والصرف الصناعى بالترشيح خلال التربة. تستخدم هذه التقنية على نطــاق واسع فى معالجة مياه الصرف والتخلص منها فى مصانع تكريـــر البـترول فـــى الولايات المتحدة وكندا وأوربا الغربية.

يعتمد الترشيح فى التربة على العمليـــات الديناميكيـــة، الطبيعيـــة، الكيماويـــة والبيولوجية التى تحدث فى التربة وتسبب التحلل لمكونات مياه الصرف وتحويلـــها إلى مواد غير ضارة. معالجة التربة لمياه الصرف تشمل الأنواع الآتية:

- مساحات سطحية من الأرض للترشيح.
- آبار ترشيح.
- حفر ترشيح مع طبقة من التربة.

فى طريقة ترشيح التربة تعالج المواد العضوية بيولوجيا، المـــواد المتطـــايرة تنطلق فى الهواء. ولكن هذه الطريقة تخضع لقوانين حمايـــة البيئـــة حيـــث يلـــزم المعالجة المسبقة لها.

بالنسبة للمعالجة الصناعية والتى يقصد بها المعالجة البيولوجية والتى إمـــا أن تكون هوائية أو غير هوائية، فإنها تزيل حتى ٩٥% من الملوثات العضوية (BOD) الموجودة فى مياه الصرف.

الخواص الفنية للعمليات الرئيسية المستخدمة فى المعالجة البيولوجيـــة لميـــاه الصرف موضحة فى الجدول التالى.

جدول الخواص التكنولوجية لعمليات المعالجة البيولوجية الرئيسية:

عملية المعالجة	زمن المكث بالأيام	العمق بالمتر	كتلة الكائنات الدقيقة ملجرام/لتر	الاكسجين الحيوى فى الماء ملجرام/لتر	نسبة الإزالة %	الحالـــــة
المعالجة الهوائية: الحمأة المنشطة	٠,٥ – ٢	٣,٧ – ٤,٩	٢٠٠٠ – ٦٠٠٠	١٠٠ – ٣٠٠٠	٨٥ – ٩٥	منع إنتفاخ الحمأة
التهوية الممتدة	١ – ١٠	٣,٧ – ٤,٩	٣٠٠ – ١٠٠٠	١٠٠ – ٣٠٠٠	٨٥ – ٩٥	---
الملامس الدوار (المرشح البيولوجـــى المغمور)	--	--	--	٥٠ – ٥٠٠	٨٠ – ٩٠	التحميل ٠,٥–٢ كجرام من BOD/م^{2}/اليوم
المرشح الزلطى	--	٤,٦ – ٩,١	--	٥٠٠ – ٣٠٠٠	٥٠ – ٦٠	التحميل ١,٦–٨ كجرام من BOD/م^{2}/اليوم
الأحواض المهواه	٠,٥ – ٣	٢,٤ – ٤,٩	--	٥٠ – ٧٥٠	٥٠ – ٧٠	خلط جيد
أحواض مهواه مختلطة Facultative	٣ – ١٠	٢,٤ – ٤,٩	٥٠ – ١٠٠	٥٠ – ٢٥٠	٨٠ – ٩٠	خلط سطحى
المعالجة اللاهوائية المفاعل اللاهوائى	٠,٥ – ٣٠	--	٥٠٠٠–١٢٠٠٠	١٥٠٠ – ١٠٠٠٠	٧٠ – ٩٠	التحميل ١,٦–٤,٥ كجرام من BOD/م^{2}/اليوم
البرك اللاهوائية	٥ – ٥٠	٢,٤ – ٤,٦	٢٥	٥٠٠ – ٢٠٠٠	٥٠ – ٨٠	التحميل ٢٣–٤٤٨ جرام BOD/م^{2}/اليوم
البرك المختلطة Facultative	٧ – ٥٠	٠,٩ – ٢,٤	٢٥	٥٠ – ٢٥٠	٧٠ – ٩٠	التحميل ٢,٥–٥,٦ BOD/ متر مربع /اليوم

إختيار مخطط المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعى يتوقف على الحجم الكلى لمياه الصرف المطلوب معالجتها والمحتوى والتركيز للملوثات ومدى سميتها.

أ- المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة: (Activated Sludge)

المعالجة بالحمأة المنشطة فى الأحواض المهواه أصبحت أكثر العمليات إستخداما فى معالجة مياه الصرف فى المصانع الكيميائية. الحمأة (Sludge) التى تعمل على تحلل المركبات العضوية فى مياه الصرف بالطريقة البيولوجية - الكيميائية (Bochemically) هى خليط معقد من الكائنات الحية الدقيقة (كتل مروبة من البكتريا وكائنات دقيقة بسيطة... الخ).

توجد عدة أشكال لعملية الحمأة المنشطة. المعالجة.عموما تحدث فى أحواض تهوية والتى تختلف فى الشكل والترتيب وطريقة تنشيط الحمأة وعدد المراحل وخصائص أخرى، حيث الكتلة البيولوجية (Biomass) المنشطة أو البكتريا التى تطفو حرة (أو تكون عالقة) فى الماء تؤكسد الوسط المحيط بها. هذا النظام جزء حساس فى المعدة لإمداد الأكسجين إلى السائل، المحافظة على استمرار الحمأة عالقة وكذلك إستمرار الخلط للمياه الداخلية مع الحمأة. فى معظم التصميمات يشمل نظام التهوية كل هذه المهام ويؤديها فى وقت واحد، ولكن فى حالة الأحواض التى يتم إمدادها بالأكسجين الصناعى والذى يتم حقنه بدلا من الهواء الجوى فإن الخلط بالقلابات الميكانيكية يكون مستقلا عن نظام الامداد بالأكسجين.

بعد حوض التهوية يتم توجيه تدفقات الصرف إلى المروق حيث ترسب الحمأة الشكل (٤/٢). معظم الحمأة يعاد تدويرها ليتم خلطها مع المياه الخام الداخله إلى حوض التهوية، والباقى يتم التخلص منه. عملية المعالجة بالحمأة المنشطة يمكن أن تكون دورية أو متقطعة.

يوجد نوعين من نظم التهوية التى تستخدم عادة فى المعالجة بالحمأة المنشطة وهما الهوائى والميكانيكى: فى النظام الهوائى يدفع الهواء إلى الحوض تحت الضغط وينتشر على ألواح المرشح، أو المواسير أو ما شابه ذلك. أما فى حالة النظام الميكانيكى فإنه يتم السحب السطحى للهواء. نظام ونوع جهاز التهوية يتوقف على حجم ومكونات مياه الصرف وديناميكا التفاعلات للأكسدة البيولوجية للمواد العضوية. سرعة الأكسدة للمواد العضوية تتناسب عكسيا مع تركيز المياه كما أنها تقل مع أكسدة المواد العضوية وزيادة زمن المكث فى حوض التهوية. بالنسبة للأداء الجيد للمعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة، فإنه يجب أن يكون للحمأة الخاصية الحيوية – كما يجب أن ترسب بسهولة. خاصية الترسيب تتوقف على قدرة البكتريا على تكوين تكتلات مع الزغبات (Flocs) أو الحمأة (Sludge)، أو كتل ذات أشكال مختلفة وقوام مختلف محاطة بطبقة هلامية. ضعف الترسيب يكون أحيانا مرتبط بنمو البكتريا العصوية، وبالتالى ضعف نوعية المعالجة. زيادة البكتريا العصوية يمكن أن ينتج عنه ما يعرف بانتفاخ الحمأة (Sludge Bulking) (أى تكوين راسب منتفخ عصوى والذى يصعب إزالته). يمكن أن يحدث ذلك عند حدوث عدة تغيرات فى ظروف التشغيل ومكونات المواد العضوية.

البكتريا العصوية تنمو عندما يكون الاكسجين المذاب منخفض، كذلك عندما يكون الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) منخفض. البكتريا العصوية لها طاقة معالجة عالية وتستهلك كميات محددة من الأكسجين والمواد العصوية. على الجانب الآخر فإن التراكمات الهلامية لحمأة البكتريا تتكون مع حمل عالى من الملوثات وكذلك المحتوى العالى من الأكسجين المذاب، على خلاف البكتريا العصوية فإنه يمكنها أكسدة المركبات العضوية المعقدة.

إنتشر حديثا فى المعالجة البيولوجية إستخدام أحواض التهوية بالخلط الكامل حيث الجمع بالتهوية بالهواء المضغوط من قاع حوض التهوية مع التقليب

الميكانيكى باستخدام جهاز التهوية. فى هذا النظام يحدث تدوير جيد لخليط الحمـــأة ومياه الصرف بما يحقق كفاءة معالجة عالية. معالجة مياه الصرف المخففة وسريعة الأكسدة فى الأحواض سريعة الخلط قد يؤدى إلى إنتفاخ الحمأة (بســبب إنخفــاض BOD والمحتوى من الأكسجين المذاب فى مياه الصرف). فى مثـل هــذه الحالــة يفضل استخدام المفاعل النابض (Pulsed Reactor) حيث يدخل كــلا مــن الــهواء والماء من القاع، كما يمكن تجنب إنتفاخ الحمأة كذلك باستخدام حوض خلط صغــير قبل حوض التهوية، حيث يكون زمن المكث عشرة دقائق فى حوض الخلط هـــذا، عندئذ لايحدث إنتفاخ للحمأة حتى فى حالة إنخفاض الحمل العضوى (٠,١ ملجــرام BOD / ملجرام مواد صلبة متطايرة).

مع زيادة تركيز المتدفقات المحتوية على كيماويات عضوية معقدة، يكون مـــن المفضل إستخدام الأحواض ذات التهوية المختلطة الكاملة والتى هى أفضـــل فـــى أكسدة الملوثات وكذلك فى عدم حدوث الانتفاخ للحمأة. فى حالة التركـــيز العـــالى لمياه الصرف يمكن حمل بعض الكتل البكتيرية من المروقات كحبيبات منتشرة، هذا بالإضافة إلى أن إنخفاض درجة الحرارة وكذلك التركيزات العاليـــة للمـــواد غـــير العضوية المذابة يعيق المعالجة الكاملة. وفى مثل هذه الحالات يجب إضافـــة مـــادة ترويب إلى مياه الصرف عند خروجها من حوض التهوية وقبل دخولها إلى حوض الترسيب أو تمريرها مباشرة إلى مروق المفاعل البيولوجى، وذلك لإمكان ترســيب هذه الملوثات.

المعالجة بالحمأة المنشطة يمكن أن تزيل ملوثات عضوية معينه بكفاءة تزيـــد عن ٩٥%، وخفض الملوثات العضوية المذابة إلى أقل من ١٠-١٥ ملجــــرام BOD فى اللتر، إجمالى المواد العضوية BOD (الأكسجين الحيوى المستهلك) بمـــا فيـــها المواد الصلبة العالقة إلى أقل من ٣٠ ملجرام/لتر. هذه الطريقة مناسبة عندمـــا يكـــون المطلوب نوعية عالية من المعالجة، وذلك عند محدودية المساحات من الأراضـــى

لمنشآت المعالجة وعند زيادة معدل التدفق لمياه الصرف عن ٣٧٥،٥ متر مكعب فى اليوم. سلبيات هذه الطريقة تشمل الحاجة إلى الاشراف الدقيق لعملية المعالجة، الحساسية للسمية، الصدمات الهيدروليكية، الحاجة إلى التصرف فى الحمأة الزائدة.

الملوثات فى مياه الصرف التى يمكن أن تكون قابلة للتحلل البيولوجى بنسبة ٩٥% تشمل مركبات عضوية مثل:

Benzidine، 2,4 Dinitrobenzene، 2,4 Dichlorobenzene، Nitrobenzene، Phenanthrene، Pentachlorophenol، Phenol، Acrylonitrile، Acrolein، Naphthalene.

الملوثات التى يمكن التخلص منها (بالتجريد – Stripping) أثناء التهوية تشمل:

Bezene، 1,2 Dichlorobenzene، Ethyl Benzene، Di, Tri, Tetrachloromethane.

بعض المركبات المتطايرة يمكن إزالتها كلية (حتى ٩٥%) من مياه الصرف بالتجريد بالهوائى فقط وهذه تشمل:

1,2 Dichloroethane، 1, 1, 1-Trichloroethylene، Trichloroethylene، Tetrachloroethylene، 1,2 Dichloropropane.

عند وجود هذه الملوثات فى مياه الصرف بتركيزات كبيرة فإن إزالتها من حوض التهوية يمكن أن يسبب مشاكل تلوث نتيجة إنطلاقها فى الجو.

ب- *التهوية الممتدة: Extended Aeration*

التهوية الممتدة هى كذلك معالجة بالحمأة المنشطة ولكن تختلف عن العملية التقليدية فى زيادة طول زمن المكث فى حوض التهوية (من ١٢ إلى ٢٤ ساعة، أحيانا من ١-٣ يوم). التهوية الممتدة يمكن أن تخفض الحمل العضوى (BOD) إلى إقل من ١٠ ملجرام/لتر. بعد المعالجة يلزم ترويق الصرف بالترويب أو الترشيح. مميزات التهوية الممتدة هى سهولة التشغيل وعدم الحساسية لصدمات التحميل،

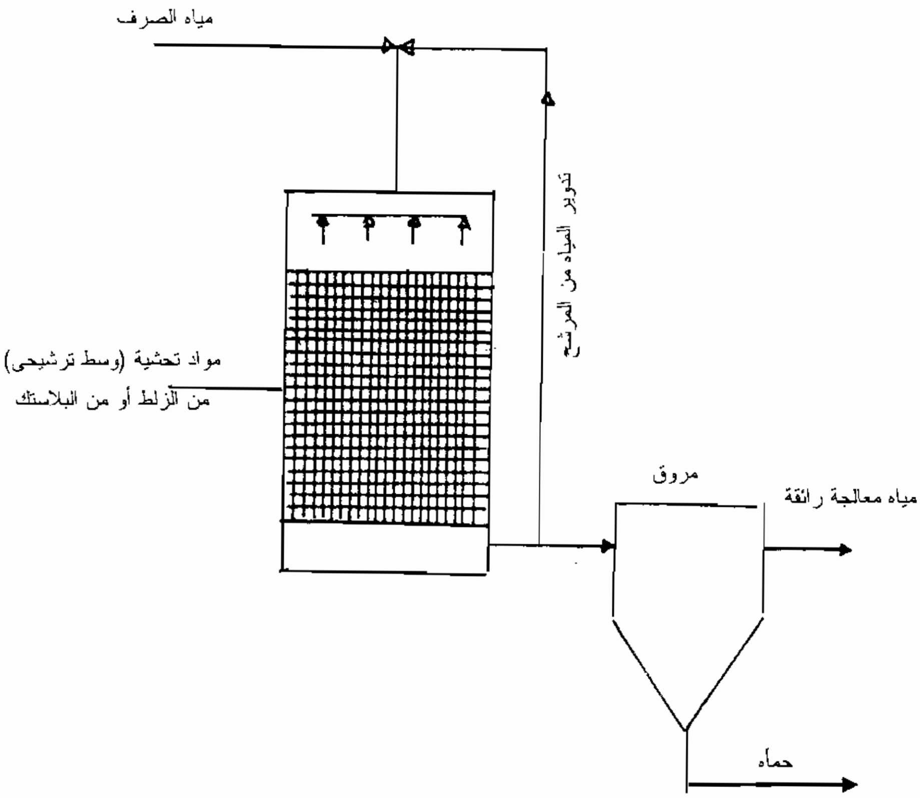
وسهولة الادارة والمتابعة. تستخدم أحواض التهوية الممتدة أساسا للتدفقات الصغيرة من مياه الصرف (حتى ١٠٠٠ متر مكعب فى روسيا، حتى ٣٧٨٥ متر مكعب فى أمريكا).

جـ- المرشحات البيولوجية: (Trickling Filters or Biological Filter)

لقد زاد استخدام المرشحات البيولوجية شكل (٤/٣) فى معالجة مياه الصرف الصناعى لمواجهة مشاكل الطاقة حيث إستخدم الوسط الترشيحى من الزلط، الحشو البلاستك، أو الفخار المثقب، أو خبث المعادن، والذى يغطى بطبقة من الكائنات الدقيقة الهوائية. تتحدد طاقة المرشح البيولوجى (المرشح الزلطى أو عالى التحميل) أساسا بالمساحة السطحية المغطاة بطبقة بيولوجية وقدرتها على الالتصاق بالأكسجين الحيوى. المرشحات الزلطية (البيولوجية) تعمل على خفض تركيز الملوثات بنسبة ٦٠-٨٥% من الحمل العضوى (BOD)، المرشحات الزلطية عالية التحميل تستخدم فى معالجة مياه الصرف عالية التركيز بنسبة ٥٠-٦٠%.

المعالجة بالمرشحات البيولوجية تكون نتيجة عمليتين متوازيتين وهما:

إزالة الملوثات بالالتصاق والإدمصاص على طبقة البكتريا الملتصقة بسطح حبيبات الوسط الترشيحى بقطر ٤٠ - ٨٠ مليمتر يعتبر مناسب جدا. المرشحات الزلطية القديمة إستخدمت قطع أحجار بقطر ٦٤-١٠٢ مليمتر فى طبقة الوسط الترشيحى بعمق ٠،٩-٢،٤متر، وهذه لاتحقق كفاءة جيدة ولكنها تحسن من التهوية والتصاق الهواء مع الطبقة البيولوجية. ولكن الكفاءة العالية للمرشحات أمكن تحقيقها باستخدام الوسط الترشيحى من البلاستك حيث أمكن الوصول إلى عمق حتى ١٢ متر، ومعالجة مياه الصرف ذات التركيز العالى من الملوثات وعند تحميل هيدروليكى عالى حتى ١٦٣ لتر/المتر المربع فى الدقيقة.



شكل (٣/٤) المرشح البيولوجى

رغم أن المعالجة بالمرشحات البيولوجية لاتزيد كفاءتها عن ٨٥% من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD)، إلا أنها سهلة وغير مكلفة فى التشغيل وتتطلب طاقة أقل نسبة إلى المعالجة بالحمأة المنشطة. تعتبر المعالجة بالمرشحات البيولوجية مناسبة جدا للمعالجة المسبقة (المعالجة غير التامة) لمياه الصرف، أو كمرحلة أولى فى معالجة مياه الصرف عالية التركيز. لمنع العفن على سطح المرشح عند معالجة مياه الصرف عالية التركيز يستخدم التدوير (Recycling)، حيث يعود جزء من مياه الصرف المعالجة لتخفيف تدفقات مياه الصرف الخام الداخلة للمعالجة، كما أن التدوير يزيد من كفاءة تجهيزات المعالجة.

د- الملامسات البيولوجية الدوارة: (Rotating Biological Contactors)

من بين معدات المعالجة البيولوجية لمياه الصرف، الملامسات البيولوجية الدوارة (المعروفة كذلك بالمرشحات البيولوجية المغمورة أو الأقراص البيولوجية). وهذه توضع فى موقع متوسط ما بين أحواض التهوية والمرشحات البيولوجية، حيث زاد إستخدامها أخيرا. هذه التجهيزات ذات تشغيل إقتصادى جدا، وهى تحقق نفس كفاءة المعالجة مثل عملية الحمأة المنشطة، ولكن حاجتها إلى الطاقة وإلى الإشراف أقل.

تتكون الملامسات البيولوجية الدوارة من عامود إدارة دوار يحمل أقراص بلاستك ضخمة مغمورة إلى ما بين ثلث إلى نصف قطرها فى حوض مياه الصرف. الأقراص ذات القطر ما بين ١ إلى ٣ متر تركب بفواصل ٢٥مليمتر وعددها على عامود إدارة واحد يمكن أن يتغير من ٢٠ إلى ٢٠٠ وهى تدور بمعدل ٢ إلى ٥ دورة فى الدقيقة. تكاليف الطاقة تتراوح ما بين ٠,٦ – ١,٢ كيلوات ساعة لكل كيلوجرام أكسجين حيوى مستهلك مزال. تتدفق المياه خلال الحوض عند سرعات مختلفة حسب درجة المعالجة المطلوبة. عادة يكون زمن المكث فى الحوض مابين ١–١,٥ ساعة. تنمو على الأقراص طبقة بيولوجية بسمك ما بين ١ إلى ٤ مليمتر، الطبقة تكون دائما مغمورة فى الماء ومسحوبة خارج الماء، حيث تؤكسد الملوثات وتزيلها بالأكسجين التى تحصل عليه من الهواء الجوى. الكتلة البيولوجية الزائدة (Excess Biomass) تسقط فى الماء ثم تحمل مع المياه المعالجة إلى المروق الثنائى.

مياه الصرف فى الحوض يتم تهويتها بتدوير الأقراص وكذلك حركة الدوران المشتركة تساعد على بقاء الحمأة المنشطة عالقة (وكذلك كل المواد الأخرى). ما بين ٦٠ – ٧٠% من الكائنات الدقيقة تكون عالقة بالأقراص كطبقة بيولوجية. الباقى يكون عالق فى الحوض مع مياه الصرف.

المرشحات البيولوجية ذات الأقراص الدوارة تنشأ عـــادة مـــن ٢-٣ مرشـــح بالتتالى، بما يمكن الطبقة البيولوجية فى كل مرشح أن يحدث لها التنشيط. العـــامل الهام فى كفاءة الأكسدة هو المساحة السطحية للأقراص والتى تكون عـــادة مـــن ١٠٠ إلى ٢٠٠ متر مربع/المتر المكعب. المرشح المتوسط يصنع عادة من البولى إيثيلين عالى الكثافة، والمساحة السطحية ١٢٢ متر مربع/المتر المكعب. وحدة الملامـــس البيولوجى الدوار له الخواص التالية:

قطر القرص ٣,٦ متر، طول المرشح ٧,٦ المرشح، إجمالى ســطح القــرص ٩٢٩٠ متر مربع لعدد ١٠٠ قرص. هذه التجهيزات يمكن أن تحقق كفاءة المعالجـة بنسبة ٩٠% للأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) والمواد الصلبة العالقة.

هـ- الأحواض والبرك البيولوجية: (Biological Ponds And Lagoons)

الأحواض والبرك البيولوجية هى عبارة عن إنشاءات ميـــاه مصنعـــة حيـــث تستخدم العمليات الطبيعية لتنقية المياه. وهى تستخدم أساســـا لتنقيـــة الميـــاه بعـــد المعالجة البيولوجية. وهى يمكن أن تنقسم إلى التهوية الطبيعية والتهوية الصناعيـــة وهذا المعروف عادة بالهوائى أو التهوية الهوائية/الغير هوائية (أو التهوية المشتركة – Facultative) أو الأحواض المهواه والغير مهواه. تتم التهوية وتوفير الأكســـجين المذاب (بواسطة أجهزة التهوية) للطبقات السطحية للماء فقط. البرك المـــهواه تتـــم باستخدام أجهزة التهوية الميكانيكية أو برفع فقاعات الهواء خلال الماء.

البرك المهواه (Aerated Lagoons) عبارة عن حوض بعمق ٢,٤ – ٤,٩ مـــتر ممتد على مساحة تزيد عن واحد هكتار. خلط طبقات الماء مع الهواء يســـرع فـــى التحلل البيولوجى للمواد العضوية. عند معالجة مياه الصرف الصناعى فـــإن هـــذه الطريقة يمكن أن تقلل المواد العضوية المذابة إلى أقل من ٢٥ ملجرام فى اللـــــتر مـــن الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD)، كما يقلل المواد الصلبة العالقة إلى أقل مـــــن ٥٠ ملجرام/لتر. سلبيات هذه الإنشاءات تشمل طاقة الأكسدة المنخفضة، بما ينتـــج

عنه زيادة من المكث فى الحوض، الطبيعة الموسمية للتشغيل، الحاجة إلى مساحة كبيرة من الأراضى. نظرا لكبر حجم مياه الصرف التى تعالج فى الأحواض فإن كمية المواد الصلبة العالقة المحتجزة تكون مرتفعة حتى ١٠٠ ملجرام/لتر وهذا يتطلب الترسيب أو الترشيح بعد المعالجة. تستخدم أحواض التهوية (Aerobic Lagoons) فى المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى قبل صرفها على شبكة الصرف الصحى.

فى أحواض التهوية المختلطة (الهوائية واللاهوائية – Facultative) حيث الخلط مع الهواء يتم فقط عند السطح، فإن جزء من المواد الصلبة العالقة يرسب عند القاع حيث يتحلل بواسطة الكائنات الحية اللاهوائية. غاز الميثان وبعض نواتج التحلل الأخرى ترتفع إلى الطبقات العليا حيث تتأكسد بالبكتريا الهوائية، كما تحدث زيادة فى إزالة الحمل العضوى (BOD) وكذلك التخلص من الرائحة الناتجة عن الأكسدة اللاهوائية عند قاع الحوض.

ولزيادة كفاءة المعالجة فإنه يتم إعداد نظام مكون من ثلاث أحواض وهم الحوض الهوائى، الحوض بالتهوية المختلطة (الهوائية واللاهوائية) وحوض الترسيب. الحوض الهوائى يؤكسد المواد العضوية المذابة ويزيد من كتلة الكائنات الحية الصغيرة (Biomass). زمن المكث من ١–٣يوم. الحوض المختلط (Facultative) يزيل ما تبقى من الحمل العضوى (BOD) وكمية كبيرة من المواد الصلبة العالقة، زمن المكث من ٣–٦ يوم. فى حالة المحتوى من المواد الصلبة العالقة للمياه المعالجة ليكون أقل من ٥٠ ملجرام/لتر، فإنه يستخدم حوض ترسيب كبير والذى يتم فيه تراكم الحمأة لعدة عقود. هذا النظام بالأحواض المتعاقبة يتوافق فى الكفاءة مع الحمأة المنشطة ومعمول به فى الولايات المتحدة الأمريكية.

<u>دراسة حالة لهذا النظام (Case Study):</u>

قرب مدينة هوستن فى أمريكا، تعالج مياه الصرف الصناعى فى حوض بيولوجى مساحته ٢,٩ هكتار وله طاقة إستيعابية من ١٩٠٠٠ إلى ٢٣٠٠٠ متر

مكعب فى مكان تجريبى لحفرة زلطية. فهو يعمل كمستودع لمياه الصرف المحتوية على زيوت وشحوم صناعية، أحماض من عمليات الجلفنة، الفينولات، الفينولات المكلورة، المعادن الثقيلة. تتم المعالجة بواسطة البكتريا الطبيعية الموجودة فى الماء. عند زيادة وتراكم الملوثات يتم زيادة التهوية الطبيعية باستخدام التهوية الميكانيكية وكذلك بإضافة عناصر بيولوجية لتعجيل تحلل المخلفات بالبكتريا. تكاليف المعالجة لكل الحوض تعادل ثلث التكاليف فى حالة التخلص من هذه المخلفات بالحرق.

هذا الحوض البيولوجى إستخدم لاختبار تقنيات المعالجة البيولوجية المختلفة لمياه الصرف والرواسب السامة، وكذلك لمعرفة انطلاق المواد العضوية المتطايرة إلى الجو أثناء التهوية للحوض وذلك بهدف تعيين مدى سرعة تأثير البكتريا على الملوثات والمدة الزمنية لذلك، وكذلك لاختيار الطريقة المؤثرة لتهوية الأحواض.

لقد أظهرت الأبحاث أن الأكسدة البيولوجية بهذه الطريقة لها نفس كفاءة المعالجة بالحمأة المنشطة، حيث البكتريا تعمل على التحلل التام للملوثات فى الرواسب. مع إنطلاق المواد المتطايرة فإن التأثير السام للمواد المترسبه ينخفض. لوحظ أن أكبر نشاط للبكتريا هو عند رقم هيدروجينى ٧. للمحافظة على الرقم الهيدروجينى عند هذا الحد تم إضافة ٤٥ كيلو جرام من الجير الحى يوميا (cao) إلى الحوض، وبذا إستمر معدل إزالة الملوثات مرتفع حتى فى شهور الشتاء الباردة. المعالجة التامة البيولوجية يتوقع أن تستغرق أربع سنوات.

و- المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف: Anaerobic Treatment of Industrial Waste Water

المعالجة اللاهوائية والتى تحدث فى عدم وجود الاكسجين تتطلب طاقة أقل ومواد غذائية أقل وتعتبر بديل للمعالجة البيولوجية الهوائية. إن من مميزات المعالجة البيولوجية اللاهوائية هو إنتاج البيوجاز (غاز الميثان) الذى يستخدم

كوقود، بالإضافة إلى قلة المحتوى من الحمأة وكذلك درجة الثبات العالمية للمخلفات المعالجة ومرونة عملية المعالجة والتى يمكن أن تتم بطريقة متقطعة أو موسمية لمياه الصرف. ولكن سلبيات المعالجة البيولوجية اللاهوائية هو النمو البطئ للبكتريا المنتجة للميثان والذى يؤثر على طول الوقت اللازم لبدء عمل وحدة المعالجة البيولوجية اللاهوائية.

تستخدم المعالجة اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز والتى تحتوى على خليط من المواد العضوية بكميات ما بين ٥٠٠ ملجرام / لتر إلى ١٠ جرام / اللتر من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) وأكثر من ذلك. التخمير اللاهوائى يتم فى مرحلتين. المرحلة الأولى الكائنات الدقيقة ذات النشاط الهوائى واللاهوائى (Facultative) تعمل على تحول المواد العضوية المعقدة وتحللها إلى أحماض دهنية وكحولات، أمونيا ومواد أخرى بفعل الأنزيمات. فى المرحلة الثانية تقوم البكتريا المنتجة للميثان بتحويل منتجات المرحلة الأولى أساسا إلى الميثان وثانى أكسيد الكربون وغازات أخرى تكونت بكميات صغيرة. البيوجاز المنتج (٦٠-٧٠% ميثان) يمكن استخدامه كوقود لتسخين المفاعل اللاهوائى نفسه.

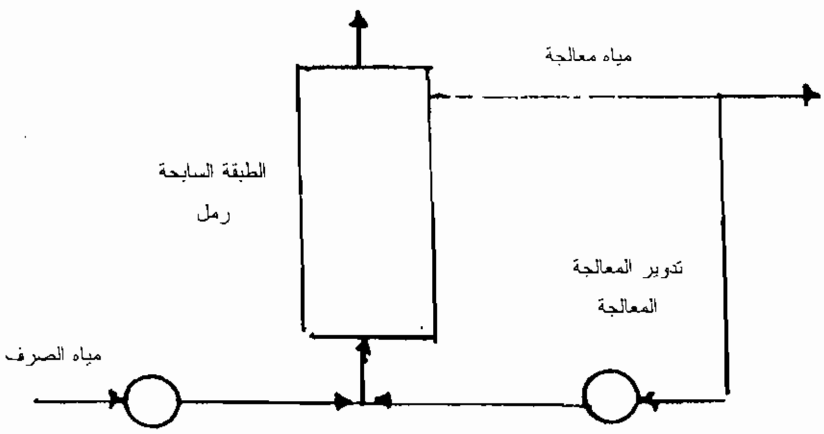
يمكن تنفيذ المعالجة اللاهوائية فى أحواض أو فى مفاعلات مصممة خصيصا لهذا الغرض. الأحواض اللاهوائية لايتم تهويتها حيث تتم معالجة مياه الصرف لاهوائيا. الأحواض المختلطة (هوائية - لاهوائية) تستخدم كذلك، حيث الطبقات السطحية لهذه الأحواض المختلطة ذات تأثير أقوى من الأحواض اللاهوائية ولكن كليهما ينتج روائح كريهة بما يجعل من الصعب إستخدامها فى أماكن كثيرة. الطريقة المستخدمة عموما فى المعالجة اللاهوائية هى باستخدام المفاعلات اللاهوائية، حيث بهذا يمكن معالجة مياه الصرف الصناعى لكثير من الصناعات بما فيها الصناعات البترولية، البتروكيميائية، وصناعة الورق ولب الورق، الصناعات الدوائية، وصناعات أخرى.

توجد أربعة أنواع من المفاعلات البيولوجية للمعالجة اللاهوائية فى الولايات المتحدة وهى:

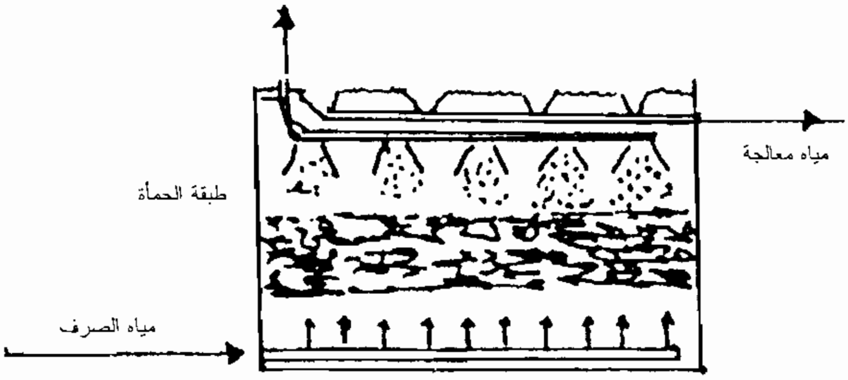
- المفاعل البيولوجى اللاهوائى – Anaerobic Biological Reactor
- مفاعل التلامس البيولوجى اللاهوائى – Anaerobic Contact Bioreactor
- مفاعل الطبقة السائلة – Fluidized Bed Reactor
- مفاعل التدفق العلوى اللاهوائى بطبقة الحمأة – Up Flow Sludge Blanket Anaerobic Reactor

الأشكال (٤/٤)، (٤/٥)

- المرشحات البيولوجية اللاهوائية هى أحواض (خزانات) مقفلة تحتوى على وسط ترشيحى حيث يتم ترشيح المياه خلاله فى تدفق صاعد بدون الالتصاق بأكسجين الهواء الجوى. عندئذ تصبح الطبقة البيولوجية ملتصقة بالوسط الترشيحى المستخدم، تحدث الأكسدة اللاهوائية والتى يصاحبها تكون غاز الميثان. تستخدم المرشحات اللاهوائية فى معالجة مياه الصرف عالية التركيز والتى تحتوى على قليل أولا تحتوى على مواد عالقة.
- مفاعل التلامس اللاهوائى: عملية التلامس اللاهوائى تشبه عملية الحمأة المنشطة، والتى تتم فى مفاعل مزود بالخلط الميكانيكى، والذى يليه حوض ترسيب حيث يعود جزء من الحمأة إلى المفاعل. وفى مقابل آخر تتحرك مياه الصرف من القاع إلى أعلا خلال طبقة صلبة من زغبات الكائنات الدقيقة اللاهوائية.
- الأكثر تأثيرا هو المفاعل اللاهوائى بالطبقة السائلة (Fluidized) حيث يستخدم الرمل كسطح لنمو البكتريا، ولكن هذه الطريقة مازالت فى المراحل التجريبية البحثية.



شكل (٤/٤) المفاعل اللاهوائى بالطبقة السابحة



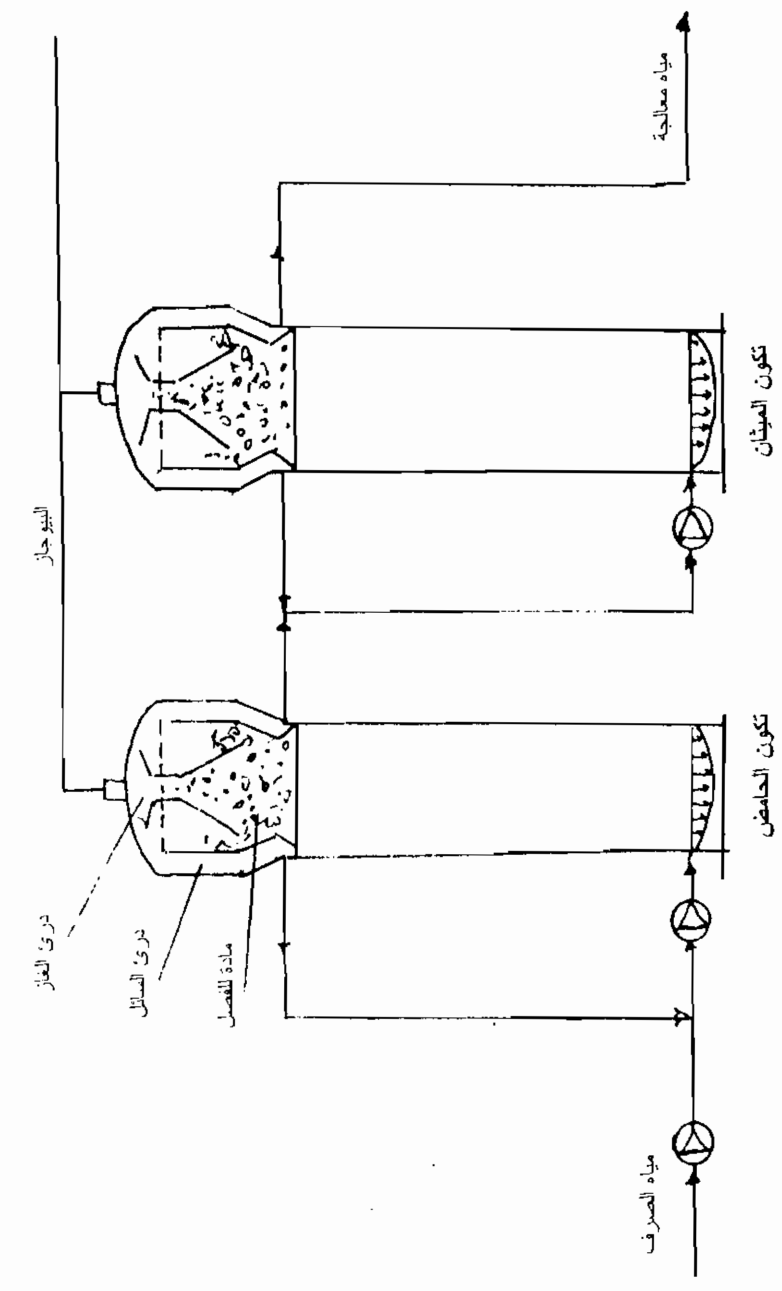
شكل (٤/٥) المفاعل اللاهوائى بالتدفق الصاعد وطبقة الحمأة

الجدول التالى يوضح مقارنة للخواص الفنية لثلاث أنـــواع مـــن المفـــاعلات البيولوجية لمعالجة مياه الصرف عالية التركيز حيث تركيز الأكســـجين الكيمـــاوى المستهلك ١٣٧٠٠ ملجرام/لتر (COD) وذلك فى مياه الـــصرف الصنـــاعى مـــن صناعة الورق ولب الورق.

	المفاعل اللاهوائى		
	المرشح البيولوجى	التدفق العلوى لطبقة الحمأة	الطبقة السائلة
زمن الحجز الهيدروليكى باليوم	١,٠	٢,٩	٠,٣٥
الحمل العضوى كجرام COD/م^{3}/ى	١٠ – ١٥	٤–٥	٣٥–٤٨
نسبة الإزالة للمواد العضوية COD.	٧٧	٨٧	٨٨
BOD	٧٧	٨٨	٨٩
إنتاج الميثان م^{3}/كجرام COD المزال	٠,٣١	٠,٢٨	٠,٣٥
المواد العالقة ملجرام/لتر			
مياه التغذية	٣٣	٥٦	٢٩
مياه معالجة	١٩٥	٢٣٨	١١٠

فى المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف تكون كفاءة التخلص من الحمل العضوى من الأكسجين الكيماوى المستهلك (COD - Chemical Oxygen Demand) حوالـــى ٨٥ – ٩٥%. بعد المعالجة فإن مياه الصرف يمكن أن تحتوى علـــى خليـــط مـــن COD حتى ١٠٠ ملجرام/لتر. لهذا السبب فإنه يمكن صرف هذه المياه إلى شـــبكة الصرف الصحى للمعالجة النهائية أو إعادة معالجتها بالطريقة اللاهوائية. المعالجـــة اللاهوائية تشبه المعالجة بالحمأة المنشطة حيث يصعب إدارتـــها وذلـــك لحساســـية صدمات التحميل العضوية والهيدروليكية.

استخدمت المفاعلات البيولوجية ذات الطبقة السائلة (Fluidized Bed) بســـبب عدة مميزات شكل (٤/٦) حيث تتفوق على المعالجة بالحمأة المنشطة. حيث تتضـــح خواص هاتين الطريقتين فى معالجة مياه الصرف كالآتى:



شكل (٤/٦) معالجة مياه الصرف على مرحلتين

المعالجة التقليدية بالحمأة المنشطة	**المعالجة بالمفاعل البيولوجى بالطبقة السائلة**
- معدل الترسيب ١ متر / الساعة	حوالى ٥٠ متر / الساعة
- الرواسب الخاملة تتراكم فى الحمأة	الرواسب الخاملة يتم غسيلها خارج المفاعل
- تركيز الكتلة البيولوجية ٥ كجرام / م^{٣}	٤٠ كجرام/م^{٣} (بسبب زيادة المساحة السطحية للكتلة البيولوجية والتى تزيد عن ٢٠٠٠ م^{٢}/م^{٣}
- سرعة مياه الصرف ١ متر / الساعة	١٠ - ٣٠ متر / الساعة
- أحواض التهوية ذات أبعاد كبيرة متسعة ومنخفضة وتحتاج إلى مساحات كبيرة من الأراضى	مدمجة، عمودية وضيقة حيث لايشغل المفاعل مساحة كبيرة من الأراضى.

يمكن تحقيق كفاءة عالية عند معالجة مياه الصرف وذلك بسبب التركيز العالى للكتلة البيولوجية ونشاطها العالى فى الطبقة السائلة للمفاعل البيولوجى.

الأسباب الرئيسية لتقرير إختيار الطريقة اللاهوائية فى معالجة مياه الصرف فى المفاعل البيولوجى بالطبقة السائل هى كالآتى:

- تنفيذ العملية بطريقة المرحلة الواحدة أو بطريقة المرحلتين.
- بدأ العملية.
- تركيز ونشاط الكتلة البيولوجية.
- ثبات العملية بالنسبة لصدمات التحميل الزائد.
- القدرة على معالجة أنواع مختلفة من مياه الصرف.

فى المعالجة اللاهوائية، المشكلة الرئيسية هى إما عمل الأكسدة البيولوجية على مرحلتين فى مفاعل واحد أو فى مفاعلين منفصلين حيث التحول إلى الحالة الحامضية فى مرحلة وإنتاج الميثان فى مرحلة. وقد أثبتت الأبحاث أن عملية المعالجة على مرحلتين لها مميزات كثيرة، من بين هذه المميزات النشاط العالى

للحمأة (المرحلة الأولى ٠,٨ جرامCOD/جرام فى اليوم، المرحلة الثانيى ٢ جـــرام COD/جرام اليوم) بما يؤدى إلى الزيادة فى إنتاج الميثان وسهولة التحكم فى الرقـم الهيدروجينى واستهلاك قليل للقلوى بانتظام، ثبات أفضل بالنسبة لصدمات التحميـل الزائد وسهولة التحكم فى سمك الطبقة البيولوجية. كل هذا يؤكد الكفاءة العالية.

لبدء مفاعلات الطبقة السائلة اللاهوائية (Fluidized Bed) ولتثبيـــت الكائنـات الصغيرة على حبيبات الحامل، لاختيار معدل التحميل بناءا على COD أثناء البـدء. فإن المستخدم عادة هو الرمل حيث أقصـــى قطـــر حبيبـــات ٠,٣ – ٠,٥ مليمـــتر لاستخدامه كحامل (Carrier)، وهذا يؤكد التركيز العالى للكتلة الحيوية فى المفاعل.

توجد طريقتين لتغذية الحمأة إلى المفاعل، وهما المتقطعـــة والمســتمرة. فـــى الحالة الأولى تضاف الحمأة إلى المفاعل قبل التغذيـــة بميـــاه الصـــرف وتســتخدم للمعالجة خلال عدة أسابيع. فى الحالة الثانية يتم التغذية المستمرة للحمأة مع ميـــاه الصرف. وقد وجد أن البدء السريع يمكن تحقيقه عنـــد إســتخدام أقصـــى تحميـل للأكسجين الكيماوى المستهلك (COD) مع زمن مكث للسوائل قصير (لمدة يوم).

سمك الطبقة البيولوجية فى مفاعلات الطبقة السائلة يتراوح ما بيـــن ٦٠ إلـــى ٢٠٠ ميكرومتر للحبيبات ذات قطر مـــن ٠,٣ – ٠,٦ مليمـــتر ومعـــدل تحويـل (Conversion Rate) ٤٠ كجرام COD/م^{٣}. اليوم. الإضطراب بسبب تدفقات ميـــاه الصرف والبيوجاز فى المواسير يؤكد ضرورة السمك للطبقة البيولوجية للمعالجـــة. لقد أظهرت الأبحاث أن صدمات التحميل الزائـــد مـــع درجـــة الحـــرارة والرقـم الهيدروجينى أو (COD) لمياه الصرف ليس لهم تأثير على العملية اللاهوائية فـــى الطبقات السائلة.

مفاعلات الطبقة السائلة الصناعية مصممة بطريقة مختلفة فى عدد من المعايير. وهذه المعايير هى حجم المفاعل، التحكم فى سمك الطبقة البيولوجية، وعملية التحويل.

توجد أربع مفاعلات متشابهة صنعت بواسطة (Door-Oliver). وهى ذات مرحلتين وبحجم ٣٦٠ متر مكعب وحجم طبقة ٣٠٠ متر مكعب، قطر ٦,١٠ متر وارتفاع ١٢,٥ متر. الحامل المستخدم رمل بقطر حبيبات ٠,٥ مليمتر، معدل تدفق مياه الصرف فى المفاعل ٣١م^{٣}/الساعة.

قام الإستشارى (Gist - Brocades) بإنشاء عدة مفاعلات لاهوائية ذات المرحلتين بطريقة الطبقة السائلة لمعالجة مياه الصرف من عمليات التخمير. وتتكون من مفاعلين متشابهين أحدهم مفاعل لتكوين الحامض والآخر مفاعل لتكوين غاز الميثان. أحد هذه المفاعلات أقيم فى هولندا بقطر ٤,٦ متر وإرتفاع الطبقة السائلة ١٣ متر (إرتفاع المفاعل ٢١ متر)، حجم الطبقة السائلى ٢١٥ متر مكعب. وأقيم مفاعل آخر فى فرنسا من مرحلتين ويتكون من مفاعلين متشابهين بقطر ٣ متر وإرتفاع الطبقة السائلة ١١ متر (إجمالى إرتفاع المفاعل ١٧ متر)، حجم الطبقة السائلة ٨٠ متر مكعب. فوق المفاعل يوجد ٣ طبقات من المصافى لحجز حبيبات الحامل مع وجود عامل درئ (Buffer) للغاز وللسائل. الحامل المستخدم رمل بقطر ٠,١ – ٠,٣ مليمتر ومعدل تدفق مياه الصرف فى المفاعل ٨ – ٢٠ م^{٣}/الساعة.

تعمل المفاعلات البيولوجية ذات الطبقة السائلة بنجاح وبإنتاجية مرتفعة نسبيا ١٠ – ٣٠ كجرام COD / م^{٣} فى اليوم. وهى تتحمل صدمات التحميل (مع التغير الكبير فى مكونات مياه الصرف) الرقم الهيدروجينى ما بين ٣– ١٠.

الخواص الفنية لعمل المفاعلات اللاهوائية ذات الطبقة السائلة كالآتى:

	مفاعل Dorr-Oliver	مفاعل هولندا	مفاعل فرنسا
تركيز الخليط فى مياه الصرف الأولية COD جرام/لتر	١٢	٣,٢	٣,٦
درجة الحرارة °م	٣٥	٣٧	٣٧
الرقم الهيدروجينى	٦,٧- ٧,١	٦,٨	٧,٤
زمن المكث فى المفاعلين	١٩	٢,٤	٣,٢
كفاءة النظافة COD%	٧٥	٧٠	٧٥
استهلاك الماء متر مكعب / الساعة	٣٢	١٨٠	٥٠
تحويل كجرام COD/م٣ اليوم	١١	٢٢	٢٠
تركيز الكتلة البيولوجية جرام/لتر	١٢	٢٠	٢٠
محتوى مياه الصرف من الأحماض الدهنية ملجرام/لتر	٦٠٠	أقل من ١٠٠	١٠٠

فى الهند فى مدينة بومباى إستخدم مفاعل مصمم بواسطة شركة (Dorr-Olivar) الأمريكية لمعالجة مياه الصرف الصناعى عالية التركيز من مصانع الورق ولب الورق بطاقة صغيرة (أقل من ٣٠ طن/اليوم) وكذلك من مصانع إنتاج الكحول والعسل الأسود، وكانت خواص المياه من هذه المصانع كالآتى:

البيـــــــان	مياه الصرف من مصنع تقطير الكحول	مياه الصرف من مصنع الورق
١- الرقم الهيدروجينى	٤ - ٤,٥	٩ - ١١
٢- اللـــــــــون	أسود	أسود
٣- محتوى الخليط ملجرام/لتر		
مواد عالقة	٥ - ١٠٠٠٠	١ - ٤٠٠٠
مواد صلبة مذابة	٧٥ - ١٠٠٠٠٠	١٠ - ٤٠٠٠٠
أكسجين حيوى BOD	٣٥ - ٥٠٠٠٠	٤ - ١٢٠٠٠
أكسجين كيماوى COD	٧٥ - ١٠٠٠٠٠	١٢ - ٣٦٠٠٠

مياه الصرف من مصانع الورق ولب الورق الصغيرة يمكن معالجتها كذلك بالطريقة المزدوجة. لنبدأ بالمخلفات من سائل لب الورق المغلى (السائل الأسود) وتجهيزات التبييض حيث تتم المعالجة اللاهوائية بالمفاعلات البيولوجية اللاهوائية المزدوجة. مياه الصرف المعالجة بهذه الطريقة يتم خلطها مع مياه الصرف من إنتاج الورق حيث تتم المعالجة الهوائية بالحمأة المنشطة.

المعالجة بالطريقة اللاهوائية وبالطريقة الهوائية لها عدد من المميزات: استهلاك أقل فى الطاقة (٤٠-٥٠%) عن الطريقة التقليدية، استهلاك أقل فى المواد الغذائية للكائنات الدقيقة (٥٠-٦٠%)، إنخفاض الزيادة فى الحمأة (٢٥-٣٠%)، مساحة أقل للإنشاءات (٤٠-٥٠%). كما أن المعالجة اللاهوائية تحقق وفر اقتصادى فى تكاليف التشغيل لكل نظام المعالجة لمياه الصرف. حاليا تم تطوير طريقة المعالجة لمياه الصرف من الصناعات البتروكيماوية حيث تتم بطريقة مشتركة باستخدام المفاعلات اللاهوائية ذات الطبقة السائلة والحمأة المنشطة الهوائية معا مع التهوية السطحية.

الفصل الخامس

المعالجة المسبقة والأولية لمياه الصرف الصناعى

١- التسوية لتنظيم التدفقات.

٢- فصل المواد العالقة.

أولاً: التسوية لتنظيم التدفقات Flow Equalization

الغرض من التسوية هو تقليل والسيطرة على التغيرات فى مياه الصرف الصناعى بهدف توفير الظروف المناسبة لعملية المعالجة التالية. يتوقف حجم ونوع حوض التسوية على كمية الملوثات والتغيرات فى معدل التدفق. يجب أن تكون سعت الحوض مناسبة لاحتواء التغيرات الناتجة عن التغير فى معدلات الإنتاج للمصنع وكذلك تخفيض التركيزات التى يتم صرفها من آن إلى آخر.

الغرض من التسوية لوحدة المعالجة للصرف الصناعى هو:

١- توفير الخفض المناسب فى التغيرات العضوية لمنع حدوث صدمات التحميل للمعالجة البيولوجية.

٢- توفير الضبط للرقم الهيدروجينى أو تقليل استخدام الكيماويات اللازمة لعمل التعادل (Neutralization).

٣- تقليل التدفقات العالية لوحدة المعالجة الطبيعية والكيماوية بما يسمح لمعدات التغذية بالمواد الكيماوية العمل بما يتناسب مع إحتياجات المعالجة.

٤- توفير إستمرارية العمل لنظام المعالجة البيولوجية خلال فترات التوقف للمصنع.

٥- توفير القدرة على تنظيم التدفقات إلى شبكة الصرف الصحى بهدف توزيع الأحمال من الملوثات بانتظام.

٦- منع التركيزات العالية للمواد السامة من دخول وحدة المعالجة البيولوجية.

عادة يتم توفير وسيلة الخلط لتأكيد التسوية المناسبة ولمنع رسوب المواد الصلبة العالقة فى قاع الحوض، هذا بالإضافة إلى أكسدة المركبات المختزلة (Reduced) الموجودة فى مياه الصرف وكذلك تقليل الحمل العضوى (BOD) بالخلط بالهواء حيث يتم الخلط مع التهوية.

٧- الطرق المستخدمة فى الخلط تشمل الآتى:

أ- توزيع المياه الداخلية باستخدام الحوائط الحائلة (Baffles).

ب- الخلط التربينى حيث يدار المحرك بالماء أو الهواء.

ج- التهوية ببثق الهواء (Diffused Air).

د- التهوية الميكانيكية.

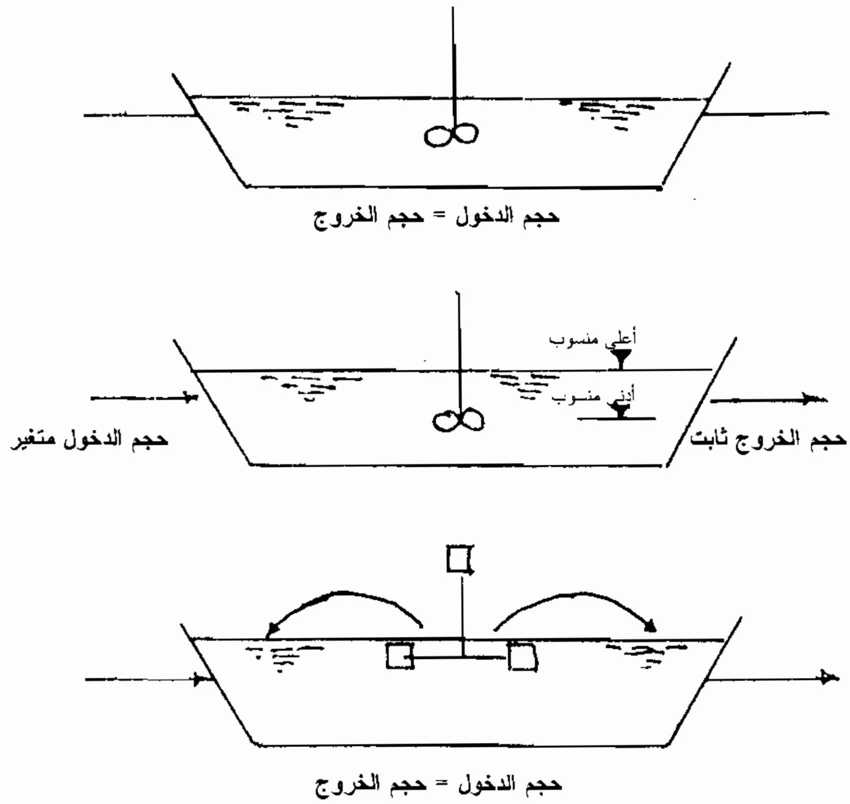
الطريقة العادية هى باستخدام الخلاطات المغمورة، كما قد تستخدم أجهزة التهوية السطحية وذلك فى حالة مياه الصرف سريعة التحلل البيولوجى مثل مياه الصرف فى صناعة البيرة، حيث تستخدم طاقة حوالى ١٥-٢٠ حصان لكل مليون جالون. (٠,٠٠٣ - ٠,٠٠٤ كيلوات/المتر المكعب). كمية الهواء المطلوبة فى حالة التهوية ببثق الهواء هى تقريباً ٠,٥ قدم مكعب من الهواء/جالو من الماء (٣,٧٤ م^{٣} هواء لكل متر مكعب مياه وذلك لمنع تكون الروائح الكريهة. كما يمكن الجمع بين نظام الخلط والتهوية (مثلاً أجهزة التهوية التى تطفو على السطح Floating Surface Aerators). الأسلوب العملى الشائع هو باستخدام الحوائط الحائلة (Baffles) والخلط الميكانيكى، التهوية أو الجمع بين هذه الطرق. وإذا كان استخدام الحوائط الحائلة لايعتبر من أشكال الخلط الحقيقى وهو أقل كفاءة عن باقى الطرق فإنه الأقل تكلفة ويمنع إختصار الرحلة للمياه (Short Circuit). وقد تستخدم الحوائط الحائلة أعلا وأسفل وهى المفضلة فى أحواض التسوية المتسعة حيث أنها توفر أقصى توزيع على المستوى الرأسى والأفقى. يتم إدخال مياه الصرف عند قاع الحوض حيث تمنع سرعة دخول المياه المواد الصلبة العالقة من الرسوب والتراكم فى قاع الحوض. عادة نظام الحوائط الحائلة غير مرغوب فيه كوسيلة جيدة لخلط مياه الصرف المحتوية على تركيزات عالية من المواد الصلبة القابلة للترسيب.

أما الخلط الميكانيكى فنظراً لكفاءته العالية فإنه يوصى باستخدامه فى أحواض الترسيب الصغيرة مع مياه الصرف المحتوية على تركيزات عالية من المواد الصلبة القابلة للترسيب وكذلك المياه سريعة التغير فى التركيز لمحتواها من المخلفات. ويتم إختيار الخلط الميكانيكى على أساس إختيار معملى لوحدة تجارب نصف صناعية (Pilot Plaint) أو طبقاً لبيانات المنتج مع المحافظة على التماثل الهندسى ومعدل الطاقة لوحدة الحجم. ذلك لأن الطاقة الناتجة عن تكوون الدوامة (Vortex) هى طاقة مهدرة. ويتم الإقلال من حدوث هذه الدوامة ما أمكن بوضع الخلط بعيد عن مركز الحوض او بزاوية عمودية أو بتمديد الحوائط المانعة بعيد عن جدار الحوض.

يلزم أن يكون نظام التسوية مائل فى إتجاه الصرف وكذلك التغذية لحوض المياه لا تكون بالخرطوم ولكن بالدفق (Flushing) بما يحد من الآثار الصحية والرائحة لمياه الصرف. شكل (٥/١) بعض نماذج لأحواض التسوية.

الحاجة إلى التسوية: (Need for Equalization)

يحدد المهندس المصمم موقع التسوية سواء عند المصدر أو عند وحدة المعالجة أو قد لايكون هناك حاجة لها. العوامل التى تؤثر على هذا التحديد هى عوامل إقتصادية مقارنة بالبدائل الأخرى. التسوية توفر الاقتصاد فى تكاليف الإنشاء مع تبسيط أو عدم التعقيد فى عمل محطة المعالجة مع تحسين عملية التحكم وكذلك إحتمال خفض التكاليف للكيماويات اللازمة. وفى حالات التسوية بالنسبة لمحطات المعالجة (فى المدينة) حيث تستخدم معدات التهوية (Aierators) لجعل المواد الصلبة تظل عالقة وتحد من الرائحة بالإضافة إلى الاقلال من الأكسجين الحيوى. وذلك حيث أن تكاليف الطاقة يمكن أن تغطيها مميزات النمو والتكاثر البيولوجى للكائنات الحية الدقيقة والتى تضيف إلى كفاءة وحدة المعالجة.



شكل (٥/١) أنواع أحواض التسوية

وبما يعمل على التخلص من المركبات الكيماوية المتطايرة. يمكن استخدام الغازات العادمة للخلط فى حالة عدم إضافة مواد ملوثة لمياه الصرف. الغازات العادمة المحتوية على كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكربون تستخدم للخلط ولتعادل مياه الصرف القلوية.

تصميم وحدة التسوية:

الحالة المثالية هو أن يبدأ تصميم وحدة التسوية بدراسة تفصيلية لمعرفة طبيعة مياه الصرف وتغيراتها، حيث تشمل الدراسة جميع البيانات عن كلا من التدفقات

والملوثات ذات الأهمية. تكاليف الدراسة تمثل جزء صغير من إجمالى تكلفة الإنشاء ولكنها تمثل قيمة بالنسبة لتكلفة التصميم الإجمالية. تكلفة الدراسات فى مراحل التصميم الأولية تساعد فى خفض التكلفة الكلية للإنشاءات وذلك فى حالة قيام مهندسى التصميم بالفحص الجيد للمتغيرات لتحقيق أقصى كفاءة للتصميم.

الإعتبار الأول فى تحديد البيانات المطلوب جمعها هو تأثير مياه الصرف على المكان الذى سيتم الصرف عليه (مسطحات مائية أو شبكة صرف صحى). القياس الهام هو معدل التدفق الكمى (Mass Flow Rate). لذلك فإن البيانات التى يلزم قياسها هى معدلات التدفق والتركيزات (الأكسجين الحيوى BOD، المواد الصلبة العالقة...الخ) والتى يتم إجراءها فى توقيتات متتالية وليست فى توقيتات عشوائية كما هو متبع فى حالات أخرى. لذلك فإن البرنامج يجب أن يحتوى على العدد الكافى من العينات ليمكن توفير البيانات الإحصائية اللازمة، كما يجب مراعاة الآتى عند تحديد عدد العينات:

- البيانات الدورية حيث يلزم جمع ما لايقل عن ورديتين.
- يجب أن يكون الفاصل بين البيانات مختلف بما يوفر الكشف عن القيم العالية القصوى (Peak) أو المنخفضة.

عندما تكون الاعتبارات الموسمية هامة فإنه يجب عمل ما لايقل عن برنامج عينات فى كل موسم.

وفى كل الحالات فإن دواعى حدود الوقت للتصميم لاتسمح بهذه الطريقة لأخذ العينات حيث أدنى مدة يوصى بها لأخذ عينات مياه الصرف الصناعى هى أسبوع واحد وذلك للبيانات المتغيرة (مثال: الأكسجين الحيوى، المواد الصلبة العالقة) والتى تجمع على فواصل زمنية من ٢-٣ ساعة. البرنامج الذى يوفر من ٥٠ إلى ١٠٠ عينة يحقق أدنى كفاية للتعرف.

الميزان المادى: Material Balance – ملحق (جـ)

إن تقنية التصميم الأولى والهامة هى محاكاة عمل الحوض وذلك بعمل ميزان مادى عبر الوحدة لفترات زمنية منفصلة (At) وهذه الطريقة تفترض:

- أن الحوض تام المخلط أى أن التركيزات الخارجة من الحوض تساوى التركيزات الداخلة إلى الحوض.
- أن المواد لاتتفاعل.
- أن التغذية للحوض متقطعة (Batch Feed).

والفرضية الثانية يمكن إهمالها إذا كان معدل التفاعل بطئ وإذا حدث تغير بسيط فى التركيز بسبب هذا التفاعل خلال زمن المكث فى الحوض (Detention Time) المقدر. أما إذا كان التفاعل واضح ويمكن تقدير معدله، فإنه فى هذه الحالة يمكن إدخال التفاعل فى المحاكاة. ويمكن تحليل مفاعل مستمر التدفق بهذا النمط على شرط أن يكون زمن أخذ العينة صغيراً جداً وذلك لعمل التقريب المعقول فى التغيرات التى تحدث مع تغير الوقت بالنسبة للتركيز والتدفق.فى خطوات منفصلة.

ولتحديد متطلبات التسوية وخاصة عند التغير العشوائى فى كل من التدفق والتركيز فقد قام كلا من (Patterson And Menez) بعمل طريقة لهذا الغرض. حيث أمكن عمل ميزان مادى لحوض التسوية من المعادلة:

$$C, QT + C_0 V = C_2 Q T + C_2 V$$

حيث:

C_1 = التركيز الداخل إلى حوض التسوية خلال الفترة الزمنية لأخذ العينة (T).

Q = الفاصل الزمنى لأخذ العينة (ساعة مثلاً).

C_0 = التركيز فى حوض التسوية عند بدء توقيت أخذ العينة.

V = حجم حوض التسوية.

C_2 = التركيز للمياه الخارجية من حوض التسوية عند نهاية الفـــترة الزمنيـــة لأخذ العينة.

وبفرض أن المياه الخارجة من حوض التسوية ثابتة التركيز خلال فترة زمنيـــة واحدة. وهذا ينطبق عندما تكون الفترات الزمنية متباعدة نسبياً. المعادلـــة الســـابقة يمكن إعادة صياغتها لحساب تركيز المياه الخارجة من حوض التسوية بعد كل فترة زمنية:

$$C_2 = \frac{C_1 T + C_0 V / Q}{T + V / Q}$$

عندئذ يمكن حساب مجال التركيز للمياه الخارجة لأجل مجال أحجام التســـوية V. يتم حساب معامل الذروة (PK-Peaking Factor) بالنسبة لتركيز وتدفق الميـــاه الداخلة. معامل الذروة (PF) للمياه الخارجة لأغراض التصميم هو النسبة ما بيـــن أقصى تركيز إلى متوسط التركيز.

<u>مثال لتصميم حوض التسوية:</u>

البيانات التالية تم الحصول عليها من مصنع خلال دورة إنتاج ٨ ساعات. كـــل فترة زمنية تمثل ساعة واحدة. تركيز المياه الخارجة لحجم التسوية لزمن مكـــث ٨ ساعات، ٤ ساعات موضح فى الجدول التالى (رقم ١)

الفترة الزمنية	معدل التدفق جالون / الدقيقة × ١٠$^{-٣}$	تركيز المياه الداخلة لمجرام/لتر	تركيز المياه الخارجية عند V لكل	
			١	٠,٥
١	١,٦	٢٤٥	١٨٧	١٩٨
٢	٠,٢	٦٤	١٨٥	١٩٣
٣	١,٠	٥٤	١٧٣	١٦٩
٤	١,٢	١٦٧	١٧٢	١٦٩
٥	١,٦	٣٢٩	١٩٤	٢٠٨
٦	٢,٠	٤٨	١٦٩	١٦٢
٧	١,٢	٥٥	١٥٧	١٤١
٨	١,٠	٣٩٥	١٧٩	١٨١
المتوسط	١,٢٢٥	١٧٨	١٧٨	١٧٨
معامل الذروة PF	١٠,٠	٨,٢	١,٠٩	١,١٧

$$V = \frac{\text{حجم حوض التسوية}}{\text{إجمالى حجم تدفقات مياه الصرف اليومى}}$$

ملاحظة: جالون/الدقيقة = ٣,٧٨ × ١٠$^{-٣}$ متر مكعب فى الدقيقة.

أما فى حالة زمن مكث ٨ ساعة فإن حجم حوض التسوية يمكن حسابه كالآتى:

١,٢٢٥ × ١٠^{٣} جالون/الدقيقة × ٦٠ دقيقة/الساعة = ٥٨٨ × ١٠^{٣} جالون (٢,٢٣ × ١٠^{٣} م^{٣})

تركيز المياه الخارجة من حوض التسوية بعد الفترة الزمنية الأولى هو:

$$C_2 = \frac{C_0\, V / Q \; + \; C_1\, T}{T \; + \; V / Q}$$

$$\frac{245 \text{ x } 1 + 178 \text{ x } 588\ (1.6 \text{ x } 60)}{1 + 5.88 / (1.6 \text{ x } 60)}$$

= 187 ملجرام/لتر.

بنفس الطريقة كل التركيزات التالية للمياه الخارجة من حوض التسوية يمكن حسابها كما هو موضح فى الجدول السابق.

يمكن حساب معامل الذروة (PF) لتركيز المياه الداخلة:

$$\text{معامل الذروة} = \frac{395}{48} = 8.2$$

معامل الذروة للمياه الخارجية مع زمن مكث ٨ ساعات هو:

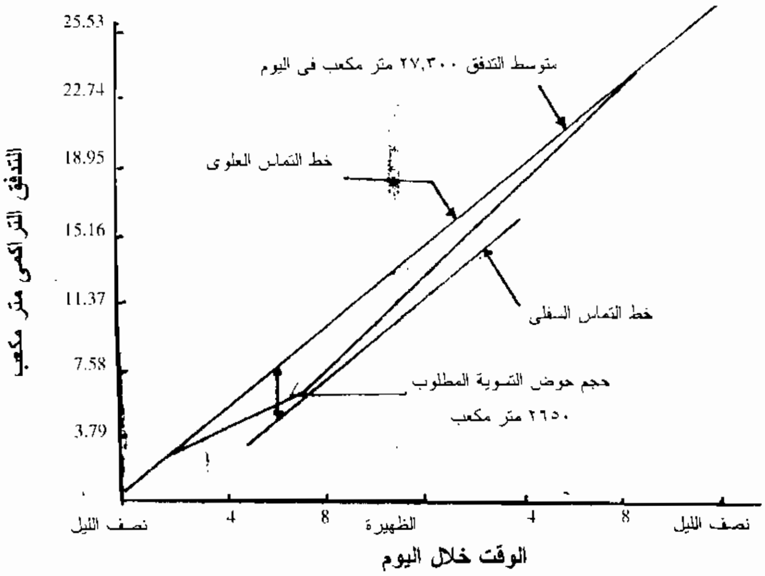
$$\text{معامل الذروة} = \frac{194}{178} = 1.09$$

نفس الطريقة يمكن أن تستخدم للتدفق لتسوية التدفق اللحظى وتركيز مياه الصرف، ولكن فى هذه الحالة يكون حجم حوض التسوية هو المتغير. وعند وجود تركيزات عالية فى ١% من الوقت ينشأ حوض لتلقى هذه التركيزات ذات التركيزات العالى آليا مثل (BOD، TOC، TSS) ودرجات الحرارة، المواد السامة.

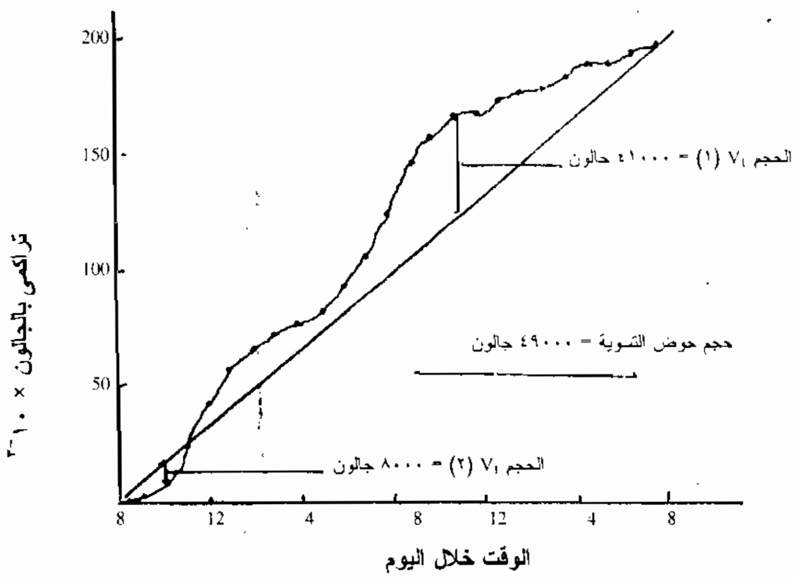
منحنى التدفق التراكمى: (Cumulative Flow Curve)

يمكن تعيين أحجام أحواض التسوية على أساس التدفق التراكمى أو مخطط الكتلة (Mass Diagram). هذه الطريقة معروفة جيدا حيث استخدمت لفترة طويلة لتعيين متطلبات التخزين للأحواض. تقنية المخطط تتكون من توقيع التدفق التراكمى مقابل الوقت لدورة واحدة كاملة (٢٤ ساعة بالنسبة لمحطات معالجة المحليات). يتم عندئذ توقيع خطين متوازيين مع الميول لتمثيل معدل الضخ من حوض التسوية، مع توقيعهم عندئذ مماسين لمنحنى التدفق التراكمى. حجم حوض التسوية المطلوب يكون عندئذ هو المسافة العمودية بين خطى التماس.

هذه الطريقة يمكن توضيحها بالمثال الجدول (٥/٢)، الشكل (٥/٢) المثال السابق بتوسط التدفقات فى الساعة مأخوذ من أحد المحطات.



شكل (٥/٢) منحنى التدفق التراكمى (متر مكعب × ١٣.١٥ = قدم مكعب)



شكل (٥/٣) تم توقيع البيانات فى الجدول (٣) كتجمع للتدفق الداخل معدل المعالجة ١٩٩,٣٠٠ جالون فى اليوم، حجم حوض التسوية المطلوبه هو ٤١٠٠٠+٨٠٠٠ = ٤٩٠٠٠ جالون (١٨٦ متر مكعب)

بدء تراكم التدفق عند منتصف الليل وتم توقيع التدفق المتراكم كخـــط منحنـــى الموضح فى الشكل (٢/٥). متوسط التدفق لليوم يمثل بالخط خلال البـــدء (Origin) وقيمة ٢٤ ساعة تدفق تراكمى. يمثل الخط معدل ثبات التدفق من حوض التســـوية. ميل معدل التدفقات الداخلة (الخط المنحنى) أقل من قيمة التدفقات الخارجة مـــن ١ إلى ٩ بعد الظهر (a M): لذلك فإن الحوض يتم تفريغه خلال هذه الفترة الزمنية.

رغم أن الطريقة السابقة لاتوفر الحجم الصحيح للحوض للعلاقة بيـــن التدفـــق والوقت ليوم معين، فإن التغير وكذا كمية التسوية المطلوبة تتغير من يولم إلى آخر. استخدمت هذه الطريقة من البيانات السنوية على أساس يوم بعد يوم. ولكـــن حجـــم الأحواض تغير عشرة أضعاف من ٦٧٠ إلى ٦٧٤٠ متر مكعب. حجم الأحـــواض لخمسة أيام تدفـــق مستمر كان أكبر ولكن التغير من أسبوع إلى آخر كـــان أقـــل. لسوء الحظ لا توجد طريقة سهلة لتعيين اليوم أو الأسبوع الصحيح.

ولكن توجد عدة طرق للتعويض عن هذه السلبيات، أحد هذه الطرق هو بتوفير سعة أكبر بما يعادل ٢٥% زيادة، وهناك آراء تقترح الزيادة فى حدود ١٢% تعتبر كافية.

بيانات التدفق كمثال جدول (٢)

التوقيت	معدل التدفق م^3/س	التدفق التراكمى (م^3)	التوقيت	معدل التدفق م^3/س	تدفق تراكمى (م^3)
منتصف الليل	٩٤٦	صفر	١ ظهر	١١١٠	١٢٨٣٠
١	٩٠١	٩٠١	٢	١٤٦٠	١٤٢٩٠
٢	٧٩٩	١٧٠٠	٣	١٣١٠	١٥٦٠٠
٣	٧٥٣	٢٤٥٣	٤	١٤٩٠	١٧٠٩٠
٤	٧٣٨	٣١٩١	٥	١٣٥٠	١٨٤٤٠
٥	٧١٩	٣٩١٠	٦	١١٠٠	١٩٥٤٠
٦	٧٤٩	٤٦٥٩	٧	١٣٧٠	٢٠٩١٠
٧	٧٨٠	٥٤٣٩	٨	١٤٢٠	٢٢٣٣٠
٨	١٠٠٠	٦٤٣٩	٩	١٣٧٠	٢٣٧٠٠
٩	١٣٧٠	٧٨٠٩	١٠	١١٠٠	٢٤٨٠٠
١٠	١٢٨٠	٩٠٨٩	١١	١٢٧٠	٢٦٠٧٠
١١	١٢٣٠	١٠٣٢٠	منتصف الليل	١٢٣٠	٢٧٣٠٠
الظهر	١٤٠٠	١١٧٢٠	---	---	---

يمكن أن يصمم حوض التسوية لتسوية التدفق أو التركيز أو كليـــهما. لتســوية التدفق فإنه يتم رسم بيانى لكل من التدفق التراكمى مع الوقت خلال فـــترة تســوية (٢٤ ساعة). أقصى حجم بالنسبة لخط التسوية الثابت هو حجم التسوية المطلـــوب كما فى الجدول (٣/٥) التالى:

الوقت	جالون/ق	جالون / س	عدد الجالونات × ١٠$^{-3}$
٨	٥٠	٣٠٠٠	٣
٩	٩٢	٥٥٢٠	٨,٥
١٠	٢٣٠	١٣٨٠٠	٢٢,٣
١١	٣١٠	١٨٦٠٠	٤٠,٩
١٢	٢٧٠	١٦٢٠٠	٥٧,١
١	١٤٠	٨٤٠٠	٦٥,٥
٢	٩٠	٥٤٠٠	٧٠,٩
٣	١١٠	٦٦٠٠	٧٧,٥
٤	٨٠	٤٨٠٠	٨٢,٣
٥	١٥٠	٩٠٠٠	٩١,٣
٦	٢٣٠	١٣٨٠٠	١٠٥,١
٧	٣٠٥	١٨٣٠٠	١٢٣,٤
٨	٣٨٠	٢٢٨٠٠	١٤٦,٢
٩	٢٠٠	١٢٠٠٠	١٥٨,٢
١٠	٨٠	٤٨٠٠	١٦٣
١١	٦٠	٣٦٠٠	١٦٦,٦
١٢	٧٠	٤٢٠٠	١٧٠,٨
١	٥٥	٣٣٠٠	١٧٤,١
٢	٤٠	٢٤٠٠	١٧٦,٥
٣	٧٠	٤٢٠٠	١٨٠,٧
٤	٧٥	٤٥٠٠	١٧٥,٢
٥	٤٥	٢٧٠٠	١٨٩,٩
٦	٥٥	٣٣٠٠	١٩١,٢
٧	٣٥	٢١٠٠	١٩٣,٣
الجالون = ٣,٧٨ = ٣,٧٨ × ١٠$^{-3}$ متر مكعب			

ومن الشكل (٣/٥) فإن معدل المعالجة هو ١٩٣٣٠٠ جالون/اليوم أو ١٣٤ جالون فى الدقيقة (اليوم ١٤٤٠ دقيقة) أو ٥٠٧ لتر فى الدقيقة. والحجم اللازم لحوض التسوية هو ٤١٠٠٠ جالون + ٨٠٠٠ جالون = ٤٩٠٠٠ جالون أو (١٨٦ متر مكعب).

مثال آخر:

لزمن مكث ٤ ساعة أو ٨ ساعة فى حوض التسوية فإنه يمكن حساب حجم حوض التسوية وذلك بأخذ متوسط معدل التدفق فى الدقيقة لكل ساعة. ثم عمل متوسط لمعدل التدفق كما يلى:

إذا كان معدل التدفق خلال ٢٤ ساعة هو كما فى الجدول التالى بالجالون فى الدقيقة. من الجدول التالى يكون المتوسط = $\frac{١٢٦٠٠}{٢٤}$ = ٥٢٥ جالون فى الدقيقة.

∴ حجم حوض التسوية = ٥٢٥ × ٦٠ × ٤ = ١٢٦ × ١٠^{٣} جالون فى الدقيقة

= $\frac{١٢٦ \times ١٠^{٣} \times ٣,٧٨}{١٠٠٠}$ = ٤٧،٦٢٨ متر مكعب

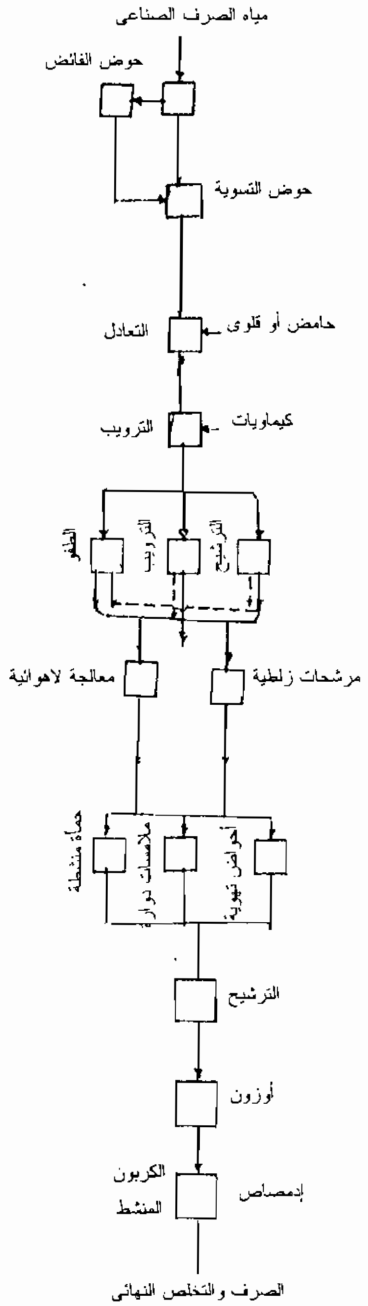
ويفرض أن زمن المكث فى حوض التهوية للمعالجة البيولوجية هو ٨ ساعات فإنه يختصر عندئذ إلى ٤ ساعات على أساس توفر التهوية فى حوض التسوية.

جدول (٤) لمعدل التدفق خلال ٢٤ ساعة بالجالون فى الدقيقة

التوقيق	جالون / ق	التوقيت	جالون / ق
٨	١٠٠٠	٨	١٠٠
٩	٨٠٠	٩	٢٠٠
١٠	٨٠٠	١٠	١٠٠

التوقيق	جالون / ق	التوقيت	جالون / ق
١١	٢٠٠	١١	٥٠٠
١٢	٦٠٠	١٢	٦٠٠
١	٤٠٠	١	٧٠٠
٢	١٠٠٠	٢	٥٠٠
٣	٤٠٠	٣	٣٠٠
٤	٣٠٠	٤	١٠٠٠
٥	٢٠٠	٥	٧٠٠
٦	٥٠٠	٦	٥٠٠
٧	٨٠٠	٧	٤٠٠

الشكل (٥/٤) يوضح وضع التسوية خلال بدائل نظم المعالجة لمياه الصـــرف الصناعى والتى سيتم تناولها فى الفصول التالية.



شكل (٥/٤) التسوية وبدائل طرق المعالجة لمياه الصرف الصناعى

ثانيا: فصل المواد العالقة Solid Separation

مقدمة:

إنه رغم وجود عمليات مختلفة فى معالجة مياه الصرف الصحى لإزالة المواد الصلبة العالقة وتركيزها. إلا أنه قد يكون من الضرورة إزالة مثل هذه المواد قبل الصرف على محطة الصرف الصحى. هذه المواد الصلبة يمكن أن تكون موجودة فى مياه الصرف الصناعى بكميات تعيق أداء محطة معالجة الصرف الصحى وكذلك نظام جمع المخلفات. يمكن أن تتأثر عملية المعالجة لمياه الصرف بالمواد الصلبة العضوية العالقة (وخاصة تلك القابلة للتعفن) والتى تزال مع الرمال فى محطة المعالجة، كما أن المواد الصلبة التى تلتصق بنظام المعالجة وتعيق التدفقات لكبر حجمها. بالإضافة إلى أن دخول التركيزات العالية من المواد الصلبة العالقة إلى محطة المعالجة يمكن يشكل أحمال زائدة على أحواض الترسيب. وبالمثل فإن المواد الصلبة الطافية العالقة يمكن أن تتراكم فى بيارة محطة الطلمبات حيث يصعب إزالتها. هذه المواد يمكن أن تسبب رائحة فى حالة تحللها بيولوجيا. وأخيرا فإن المعالجة المسبقة تكون مطلوبة أحيانا كوسيلة لإزالة مواد معينة تعيق أداء محطة معالجة ونظام التجميع للصرف الصحى للمحليات.

المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف:

المواد الصلبة العالقة الموجودة فى مياه الصرف تقسم طبقا للحجم وطبقا لعملية إزالتها كالآتى:

- *المواد كبيرة الحجم:* وهى التى لايقل قطرها عن ١ بوصة (٢٥ مليمتر) والتى تعيق التدفقات وعمليات المعالجة التالية.

- *الرمال (Grit):* وهى المواد العالقة التى ترسب بسرعة وهذه تشمل الرمال، الزلط وبعض المواد الأخرى عالية الكثافة.
- *المواد الصلبة القابلة للترسيب:* Settleable Solids وتشمل المواد التى ترسب من مياه الصرف فى إختبار قمع أمهوف (Imhoff) القياسى. المواد القابلة للترسيب هى أساسا جسيمات ذات قطر أكبر من ٠,٠٠١ مليمتر تقريبا (١ ميكروميتر). وهذه عادة لاتحتوى على الرمال أو ماشابه ذلك أو أى أجسام أكبر من بوصة واحدة فى القطر (٢٥ مليمتر).
- *مواد هلامية (غروية) (Colloids):* وهذه عبارة عن مواد عالقة ذات قطر ما بين ٠,٠٠٠٠١ مليمتر (أى من ٠,٠٠١ مليميكرون إلى ١ مليميكرون) وهى لاترسب بدون عوامل مساعدة للترسيب فى نظم المعالجة. هذه الجسيمات لها شحنات سطحية والتى يجب معادلتها ليمكن تجميع الجسيمات (Particle Agglomeration)، حيث يستخدم عادة التزغيب والترويب والترسيب. المروبات المستخدمة من الأملاح المعدنية غير العضوية والبولى اليكتروليتس لإزالة هذه المواد الهلامية.

المواد الصلبة العالقة فى مياه الصرف الصناعى يمكن أن تكون عضوية أو غير عضوية. ولكن يمكن أن تدخل الرمال إلى خطوط الصرف عند هطول الأمطار أو من عمليات الغسيل فى صناعة الورق ولب الورق، ومن الصناعات الغذائية وصناعات أخرى... الخ. قشور الصدأ من عمليات إعداد السطح فى صناعة الصلب (Pickling) لها صفات الرمال حيث أنها مواد غير عضوية وسريعة الترسيب كما أنها تزال فى عمليات المعالجة مثل إزالة الرمال فى محطات معالجة الصرف الصحى. المواد الصلبة القابلة للترسيب والمواد الهلامية (Colloidal) يمكن أن تكون كذلك عضوية أو غير عضوية وذلك طبقا لنوع الصناعة. هذا بالإضافة إلى أنه فى حالة استخدام مواد التشتت مثل مواد النشاط السطحى (المنظفات

الصناعية) فى العمليات الصناعية فإنه قد يسبب درجة ثبات عالية للمواد الصلبة العالقة بما يجعل من الصعب إزالتها.

تصنيف المواد الصلبة العالقة:

المواد الصلبة فى المياه وفى مياه الصرف تعرف بالمتبقى (Residue). إجمالى المتبقى (أو إجمالى المواد الصلبة) هو المادة المتبقية من العينة بعد تبخير المياه من العينة وجفاف المتبقى فى فرن عند درجة حرارة معينة. إجمالى المتبقى يشمل المتبقى الذى لايمر من المرشح وكذلك الذى يمر من المرشح. المواد الصلبة العالقة هى التى لا تمر من وسيلة الترشيح، أما المواد الصلبة المذابة فهى التى تمر من وسيلة الترشيح.

إجمالى المواد الصلبة العالقة (التى لاتمر من وسيلة الترشيح). تعين المواد الصلبة العالقة (TSS) بترشيح العينة خلال وسط ترشيحى وتعيين الوزن للمتبقى ثم التجفيف فى فرن تجفيف حتى ثبات الوزن. درجة حرارة تجفيف العينة هى عادة ١٠٣ إلى ١٠٥°م، ذلك رغم أن درجة حرارة أعلا يمكن أن تستخدم فى حالات خاصة. العينة التى يتم تجفيفها عند ١٠٣°م إلى ١٠٥°م تحتفظ بماء التبلر بالإضافة إلى المحتوى من بعض المياه الملتصقة ميكانيكيا. كفاءة الفقد فى ثانى أكسيد الكربون والمواد العضوية المتطايرة ضعيف عند درجة الحرارة هذه. العينات التى يتم تجفيفها عند ١٨٠°م تفقد كل المياه الملتصقة ميكانيكيا فى العينة، ولكن بعض مياه التبلر قد يظل فى المتبقى. الفقد لثانى أكسيد الكربون فى المادة العضوية يزداد مع زيادة درجة حرارة التجفيف.

تتوقف كمية إجمالى المواد الصلبة العالقة التى تقاس من عينة معينة إلى درجة كبيرة على ورق الترشيح المستخدم. ورق الترشيح من الصوف الزجاجى إستخدم لقياس المواد الصلبة العالقة لعدة سنوات كما أنه من المحتمل إستمرار استخدامه فى

المستقبل. كمية المواد الصلبة المتبقية هى دلالة لقطر الفتحات فى ورق الترشيح والذى ما زال بدون مواصفات قياسية حتى الآن هذا بالإضافة إلى أن كمية المواد الصلبة العالقة التى يتم قياسها من عينة تتوقف على الخواص الطبيعية للمادة العالقة، سمك مادة الترشيح وكمية الحالة الطبيعية للمادة المتبقية على مادة الترشيح. هذا بالإضافة إلى أنه تعين أن وجود تركيزات عالية من المواد غير العضوية المذابة فى العينة يمكن أن يزيد من المواد الصلبة العالقة الكلية. فى مثل هذه الحالات فإن غسيل ورق الترشيح بحجم معين من المياه المقطرة قبل سحبها من جهاز الترشيح يمكن أن يصحح هذه المشكلة بغسيل المواد المذابة خلال ورق الترشيح. ولكن فى بعض الأحيان يمكن أن يسبب هذا الغسيل بالماء المقطر فى إزالة بعض المواد الصلبة العالقة الصغيرة جداً بما يسبب إنخفاض فى تركيز المواد الصلبة العالقة. ولذلك فإن عملية الغسيل هذه يجب أن يتقرر استخدامها فى كل حالة على حدة.

المواد الصلبة المتطايرة والمواد الصلبة الثابتة:

المواد الصلبة المتطايرة هى المواد المتطايرة فى المتبقى الذى لم يمر من ورق الترشيح، أما المواد الصلبة الثابتة فهى المواد الثابتة (غير المتطايرة) فى الراسب المتبقى على ورق الترشيح. هذه النوعيات من المواد الصلبة العالقة الكلية يتم تعيينها بالترشيح فى قرص ٢,٢٥سم (٠,٩ بوصة) لعينة كافية لترك ٢٠٠ جرام من المتبقى (مادة صلبة)، تجفيف المتبقى حتى الوزن الثابت لتعيين إجمالى المواد الصلبة العالقة، ثم حرق المتبقى عند درجة ٥٥٠°م. ووزن المتبقى بعد الحرق هو المواد الصلبة الثابتة (الجزء الذى لايتطاير). الفرق بين المواد الصلبة الثابتة وإجمالى المواد الصلبة العالقة هو الجزء الذى يمثل المواد الصلبة المتطايرة. فى

حالة الحمأة حيث اللزوجة العالية فإنه يتم تعيين إجمالى المـــواد الصلبــة العالقــة المتطايرة بتعيين إجمالى المواد المتبقية أو إجمالى المواد الصلبة المتطايرة.

طرق الإزالة للمواد الصلبة العالقة:

إختيار الطرق لإزالة المواد الصلبة العالقة يبنى على أساس الآتى:

- درجة الإزالة المطلوبة.
- تركيز المواد الصلبة فى مياه الصرف.
- التركيز النهائى المطلوب.
- حجم الأجسام العالقة، قابليتها للترســـيب، وطبيعـــة الترســيب الحــر أو بالمروبات.

التقنيات المستخدمة عادة لإزالة المواد الصلبـــة العالقـــة مـــن التدفقـــات ذات المحتوى من المواد الصلبة العالقة أقل من ١% (١٠٠٠٠ ملجــــرام/لــتر) يمكــن تصنيفها طبقا للآتى: لكل آلية للإزالة يتم كذلك تناول الطريقـــة المســتخدمة فـــى المعالجة المسبقة.

- استخدام المصافى: وتشمل مصافى القضبان، المصافى صغيرة الفتحات.
- الإزالة بالجاذبية وتشمل:
  - إزالة الرمال بالترسيب.
  - الترسيب الحر بدون إستخدام كيماويات الترويب.
  - الترسيب باستخدام كيماويات الترويب.
  - الطفو (إما باستخدام الهواء المذاب أو الهواء الحثـــى (Induced) الــذى يصاحبه عادة مساعدات ترويب.

- الترشيح: باستخدام الوسط الترشيحى الحبيبى أو باستخدام وسط ترشيحى مغطى بطبقة من مساعدات الترشيح من مواد التربة الدياتومية (Diatomaceous Earth).

١ - الإزالة باستخدام المصافى: (Removal By Straining)

تستخدم المصافى الكبيرة الفتحات وذات الفتحات الصغيرة فى إزالة المواد الصلبة من مياه الصرف بحجزها. المصافى ذات الفتحات من ٣ مليمتر (٠,١٢٥ بوصة) أو أكثر تصنف كمصافى كبيرة الفتحات، بينما المصافى ذات الفتحات المطلوب أقل من ٣ مليمتر تصنف كمصافى ذات الفتحات الصغيرة. إتساع الفتحات المطلوب يتحدد طبقا للغرض من المصفاة، العمليات التالية للحجز بواسطة المصفاة، قفز الحبيبات التى يمكن للمصفاه حجزها بكفاءة.

المصافى ذات الفتحات الكبيرة: (Coarse Screens)

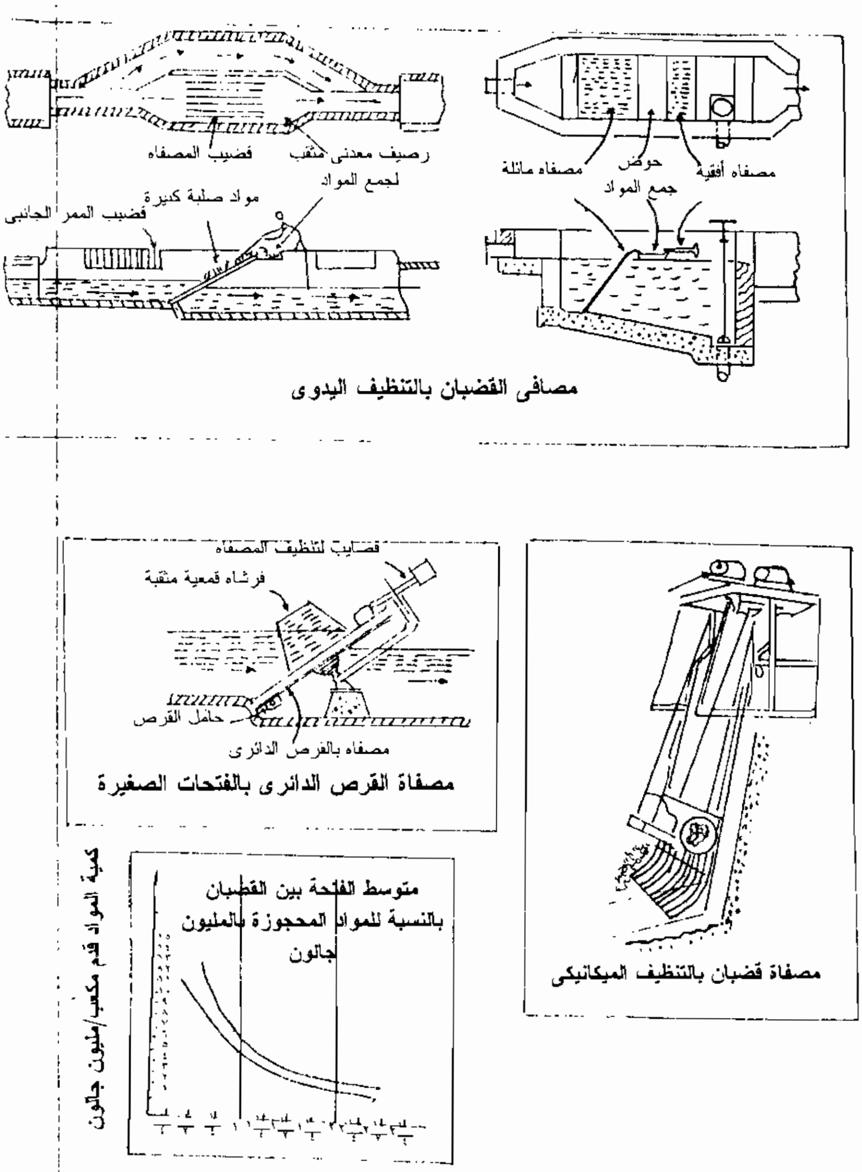
أكثر أنواع المصافى ذات الفتحات الكبيرة إستخداما هى مصافى القضبان (Bar Screens) والتى تستخدم أساسا لحماية المعدات تحت التيار من التلف أو خفض الكفاءة لوجود المواد الصلبة الطافية. تنشأ مصفاه القضبان فى قناه بزاوية ١٠ - ٩٠ درجة مع التدفق. الزاوية الأفقية الحادة هى تحت التيار. الاعتبارات التصميميه تشمل أبعاد القناه، الفواصل بين القضبان، عمق التدفق فى القناه، طريقة النظافة، طرق التحكم. يجب أن يوفر تصميم القناه سرعة تدفق من ٠,٣ إلى ٠,٩ متر فى الثانية (١ إلى ٣ قدم/الثانية) ذلك لتجنب الترسيب فى القناة، وكذلك لمنع المواد الصلبة العالقة من أن يتم حجزها بقوة بين القضبان. يجب أن تكون الفواصل بين القضبان متساوية حيث تكون من ٢٥ - ٥٠ مليمتر (١-٢ بوصة).

الفقد فى الضغط خلال المصفاه سيتغير طبقا لكمية وطبيعة المواد المحتجـــزة. تتراوح القيم التصميمية ما بين ٠,٢ إلى ٠,٨ متر بالنسبة للمصفاه النظيفــة والتـــى يكون بها إنسداد جزئى. الفقد فى الضغط الناتج عن المصفاه النظيفة يمكن حســـابه من بيانات التدفق والمساحة المؤثرة لفتحات المصفاه (أى مجموع الفتحات العموديـة للمصفاة).

نظافة مصفاه القضبان يمكن أن تكون يدويا أو ميكانيكيا. النظافة اليدويـــة قــد تكون مكلفة فى النظم الصغيرة، ولكن النظافة من آن إلى آخـــر قـــد ينتـــج عنـــها إضطراب (Surges) لسرعة عالية والذى يقلل من كفاءة مصفـــاه القضبـــان. ينفــذ التنظيف الميكانيكيى باستخدام زحافات (Rakes) على سلاسل أو كوابل غير نهائية، يمكن نظافة المصافى إما من الأمام أو من الخلـــف شـــكل (٥/٥). يتـــم تشـــغيل الزحافات بمحرك كهربى والذى يتم حمايته بتجهيزات (Overload). تتحرك الزحافة فوق وبين القضبان، حيث ترفع المواد التى يتم إصطيادها إلى رصيف علوى فـــوق المنشأة. بعض المصافى تجهز بقضبان منحنية والتى يتم تنظيفها باستخدام زحافـــة دوارة. التحكم فى النظافة الميكانيكية يمكن أن يكون بواسطة ضوابط ميقاتيـــة، أو بالتشغيل الميكانيكى طبقا للفرق فى الضغط. التشغيل الميكانيكى يقلل من تكـــاليف العمالة، يوفر تدفق مستمر بحالة أفضل، يوفر حجز أفضل، يقلل من المضايقات.

<u>المصافى ذات الفتحات الصغيرة: (Fine Screens)</u>

المصافى ذات الفتحات الصغيرة الأكثر استخداما هى المصفـــاة الأسـطوانية الدوارة (Rotary Drum Screen)، المصفاه الهزازة، المصفاة المماسـة (Tangential Screen)، والتى تستخدم لإزالة الجسيمات الصغيرة غير المروبـــة وكذلـك غــير الغروية أو الهلامية.



شكل (٥/٥) أنواع المصافى وكفاءة الحجز

مصفاة الأسطوانة الدوارة التى تنشأ على القناه وتعمل شبه مغمورة، ولها مصفاه دائرية دوارة والتى تدور حول محور أفقي شكل (٥/٧). كقاعدة يدخل السائل من مركز الأسطوانة ويتدفق محيطيا خلال المصفاه، ترسب المواد الصلبة على نسيج المصفاه. أحيانا يتدفق هذا السائل من المحيط الخارجى للأسطوانة حيث ترسب فى قادوس لسحب المياه منها (Dowatering) والتخلص النهائى، ولاستعادة المواد الوسيطة. أما فى حالة التدفق من الخارج فإن المواد الصلبة تحجز على السطح الخارجى للأسطوانة حيث يتم إزالتها بريش القصابية. كما يستخدم دفق الماء (Water Jets) لتنظيف المصفاة ولمنع الإنسداد. التنظيف يمكن أن يكون مستمرا أو متقطعا. يمكن استخدام الغسيل العكسى بزيادة الفرق فى الضغط (فقد الضغط). أحد مميزات الأسطوانة الدوارة هى الفقد القليل فى الضغط أو متطلبات طاقة التشغيل. الفقد فى الضغط خلال المصفاه يشمل الدخول والخروج يختلف ما بين ٣٠٠ إلى ٤٠٠ مليمتر (١٢ إلى ١٩ بوصة). الفقد فى الضغط خلال المصفاه نفسها يجب ألا يزيد عن ١٥٠ مليمتر (٦ بوصة). تصنع المصافى عادة من الصلب المقاوم، برونز المنجنيز، نيلون البولى إستر، أو نسيج من أسلاك سبيكة. الفتحات تختلف عادة من ٠,٠٢ إلى ٣ مليمتر (٠,٠٠٠٨ – ٠,١ بوصة). لاتتوقف الإزالة الكلية للمواد الصلبة على قطر الفتحات، حيث طبقة المواد الصلبة المحتجزة توفر الآلية الميكانيكية لإزالة الحبيبات الصغيرة. قطر الأسطوانات يتراوح من ٠,٩ إلى ١,٥ متر (٣ إلى ٥ قدم)، الطول من ١ إلى ٤ متر (٤ إلى ١٢ قدم)، معدل الدوران هو تقريبا أربع لفات فى الدقيقة.

المصافى من النوع الدوار المجهزة بمصفاة أو نسيج بفتحات ما بين ٠,٠٣، ٠,٠٩ ميكرومتر/المليمتر المربع (٢٠، ٦٠ ميكرومتر / البوصة المربعة) تستخدم كذلك فى الحجز الميكرونى (Micro Straining). مثل هذه المعالجة لازالة المواد الصلبة تستخدم عادة فى التشطيب النهائى (Final Polishing) وليس فى المعالجة المسبقة.

النوع الآخر من المصافى هو المصافى الثابتة أو المماسة:

Tangential or Static Screens

وهذا النوع من المصافى يعتبر من المصافى صغيرة الفتحات المستخدمة فى المعالجة المسبقة لإزالة المواد الصلبة شكل (٥/٥). تتكون المصفاة من سطح مقعر يكون من عدة قضبان بفواصل متساوية عمودية على إتجاه تدفق المياه، عادة الفواصل ١,٥ مليمتر (٠,٠٦ بوصة). فوق المصفاه يوجد صندوق تمرير على طول عرض المصفاه بمدخل، يمكن أستخدام حائل (Baffle) لخفض إضطراب التدفق على المصفاه. المواد ذات الحجم الزائد تتحرك على سطح المصفاه حيث تجمع ويتم صرفها عند القاع بطرق مختلفة (مثال: فى حوض باستخدام ناقل حلزونى). يمر السائل خلال المصفاه حيث يتم صرفه خلال مخرج منفصل. بالإضافة إلى كونها ذات التنظيف الذاتى فإن المصفاه الثابتة أو المماسة لها ميزتين وهما التهوية لمياه الصرف وعدم وجود أجزاء متحركة. قد تحتاج المصفاه إلى الغسيل اليومى لمدة حوالى خمسة دقائق بالبخار أو بالماء الساخن لمنع التراكم والتعمية بالشحومات. عادة تكون الوحدة من الصلب المقاوم ولكن فى حجره (Housing) من الصوف الزجاجى.

المصفاه الهزازة: Vibratory Screen

المصافى الهزازة مفيدة فى الصناعات المستخدمة لكميات كبيرة من المياه. كمثال فى الصناعات الغذائية، حيث سحب المياه من المواد الصلبة (Dewatering) يكون مطلوب إما للصرف أو لإستعادة المادة الوسيطة. يوجد نوعين أساسيين من المصافى الهزازة: وهما تلك ذات التغذية المركزية وذات النهاية المستطيلة للتغذية، يتم صرف المواد الصلبة فى حلزون فى إتجاه المركز (Center) أو المحيط. فى النوع الثانى، تصرف المواد الصلبة على طول المصفاه فى إتجاه النهاية المنخفضة.

٢ - الإزالة والتخلص بالجاذبية:

يمكن إزالة المواد الصلبة العالقة بالجاذبية، وذلك طبقا لإستعداد الأجسام الصلبة لترسب أو تطفو فى حالة السكون. حيث المواد ذات الكثافة الأكبر من كثافة الماء ترسب وتلك ذات الكثافة أقل من كثافة الماء تطفو.

أ- إزالة الرمال: (Grit Removal)

الرمال هى مواد صلبة غير متعفنة ذات سرعة رسوب أكبر من المواد الصلبة المتعفنة. توجد طريقتين للإزالة وهما التحكم فى السرعة والتهوية، فى حالة إستخدام التحكم فى السرعة لإزالة الرمال، فإنه يتم ذلك بضبط مقطع قناه التدفق تحت التيار بما يوفر سرعة تدفق ثابتة تقريبا خلال مرحلة التدفق حيث يتغير عمق التدفق فى القناه مع التغير فى الحجم. تجهيزات التحكم مثل الهدارات النسبية (Proportional Sutroweirs) التى توضع فوق السطح السفلى لقناة التدفق بمسافة ١٥ - ٣٠ سم (٦-١٢ بوصة) وذلك لتوفير الحجز للرمال ومنع إعادة حركة وتعلق الرمال المترسبة ثانيا.

السرعة هى حوالى ٠,٣ متر فى الثانية (١ قدم فى الثانية) والتى توفر الترسيب للرمال ولكنها فى نفس الوقت تحمل الأجسام الخفيفة من المواد العضوية كما تعمل على إعادة حركة وتعلق الذى يرسب منها. النظافة عموما تتم بالطرق الميكانيكية حيث تتم باستخدام ساعات ميقاتية. لايوصى باستخدام المعدات ذات الحركة المستمرة لتجنب البرى والتلف بفعل الرمال.

يمكن كذلك استخدام يثق الهواء (Diffused Air) فى حوض حجز الرمال لإزالة الرمال. حيث الأجسام الثقيلة ترسب والأجسام العضوية الخفيفة تطفو بفعل الهواء. معدلات الهواء الموصى بها هى ٥-١٢ لتر فى الثانية لكل متر طولى من

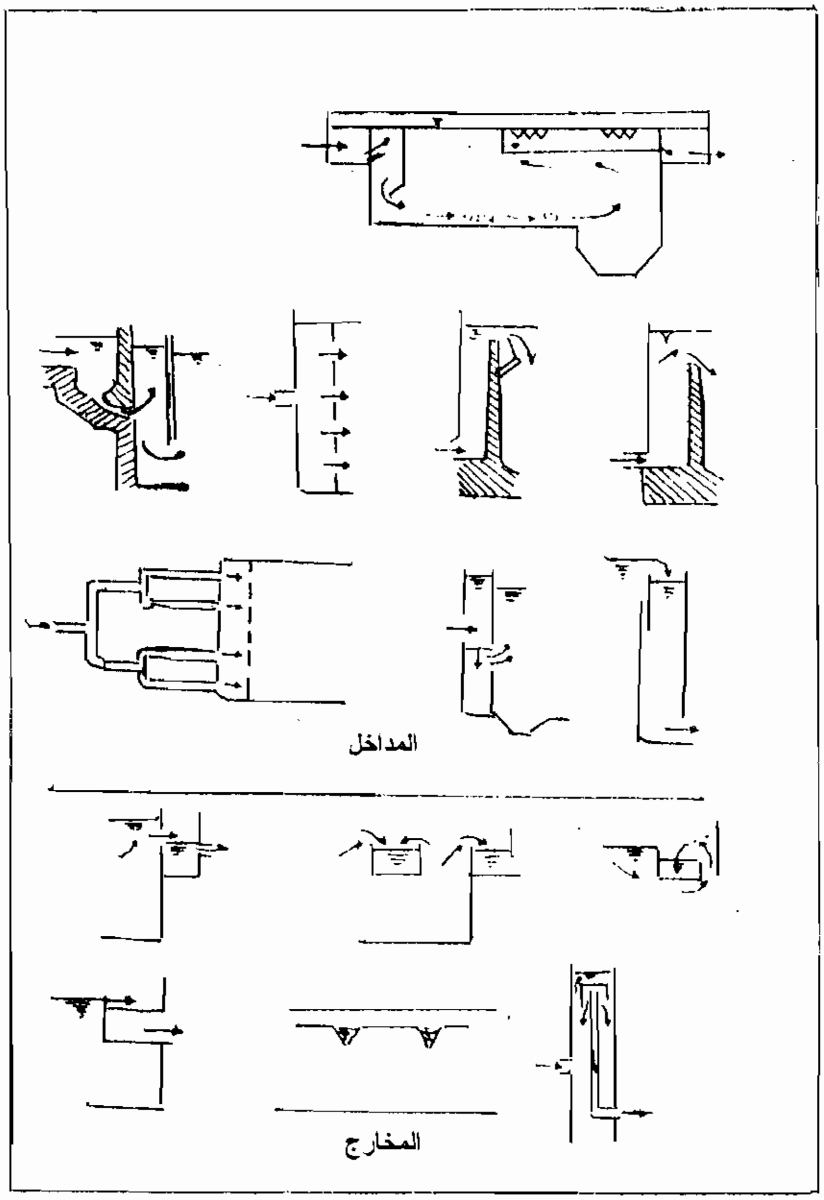
الحوض (٣ إلى ٨ قدم مكعب/الدقيقة/القدم) مع مراعاة توفير متطلبات التغير فى تدفقات الهواء. المعدلات العالية يجب أن تستخدم فى الأحواض ذات المقطع الكبير. زمن المكث للإزالة المؤثرة يتراوح ما بين ٣،١ دقائق عند أقصى معدلات التدفق. يجب أن يصمم مدخل ومخرج غرفة (حوض) حجز الرمال لمنع قصر المسافة شكل (٥/٦). يجب دخول المياه مباشرة إلى حالة الدوران الناتجة عن بثق الهواء، كما يجب أن يكون المخرج بزاوية عمودية نسبة إلى المدخل. يجب تجنب المساحات الميتة وذلك من خلال التصميم الهندسى لجمع الرمال ومعدات بثق الهواء. يوصى باستخدام التنظيف الميكانيكى.

تتأثر سرعة الترسيب بحجم وكثافة حبيبات الرمال وكذلك بدرجة الحرارة لمياه الصرف. يبنى التصميم على أساس كثافة الرمال ٢,٦٥ ودرجة حرارة مياه الصرف ١٦°م. ولكن مياه الصرف قد تختلف كثيرا عن هذه الخواص. تصمم كلا من أحواض حجز الرمال بالترسيب وبالتهوية على أساس التدفقات عند الذروة لتوفير الانتظام فى إزالة الرمال خلال مجال متسع من التدفق.

٣- *الترسيب الحر: (Plain Sedimentation)*

فى الترسيب الحر يتم الإحتفاظ بالسائل فى مرحلة ترسيب حر طويلة بما يكفى لترسيب المواد الصلبة العالقة ذات سرعة الترسيب البطيئة. وهذه المواد الصلبة العالقة تكون ذات كثافة نوعية أقل من كثافة الرمال ولذلك تتطلب وقت أطول لترسب.

المعايير التصميمية تشمل المساحة السطحية لحوض الترسيب، زمن المكث، عمق الحوض، معدل التدفق خلال الهدار.

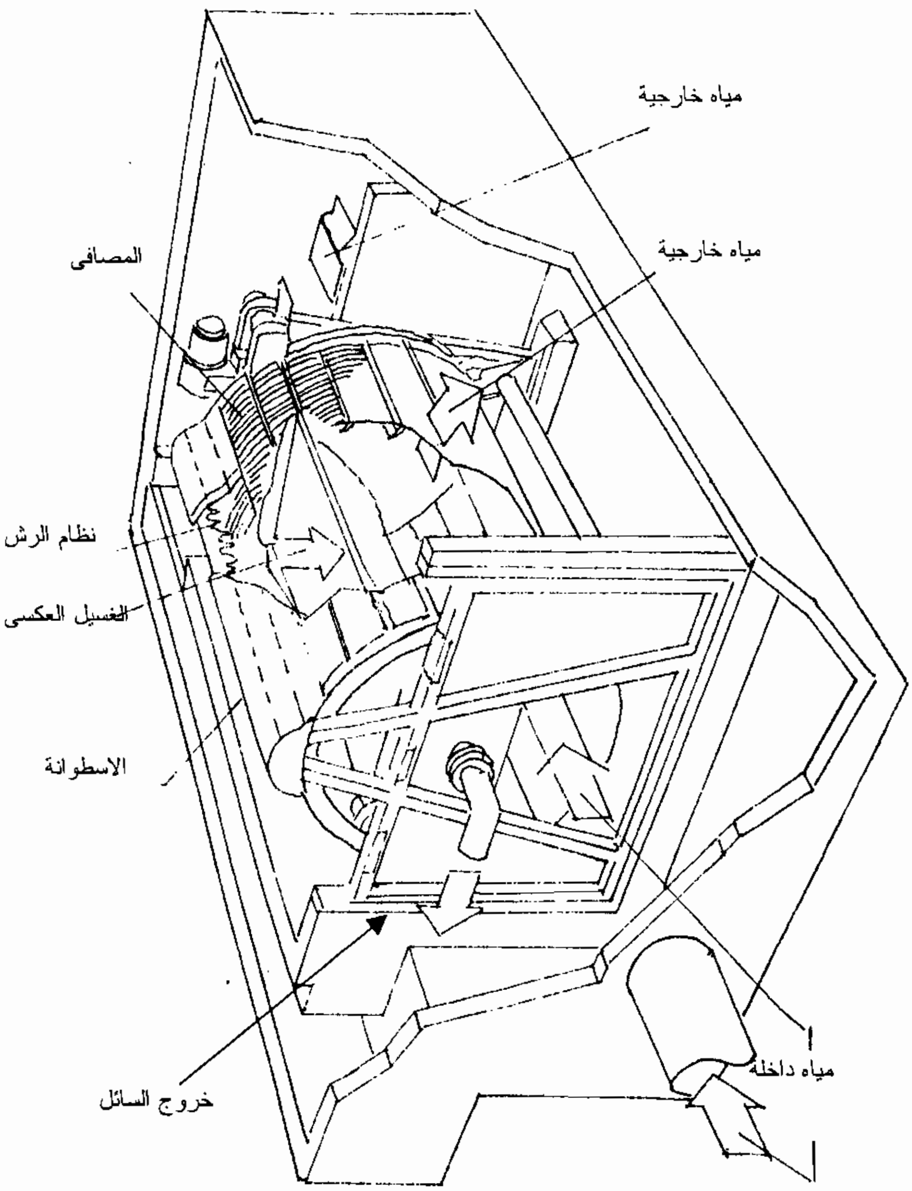


شكل (٦/٥) المداخل والمخارج لأحواض من الترسيب

معدل التحميل السطحى هو معدل مياه الصرف خــــلال المســاحة الســطحية لحوض الترسيب. القيم المثالية هى من ٢٤ إلى ٣٣ متر مكعب/المتر المربع فـــى اليوم (٦٠٠ إلى ٨٠٠ جالون / القدم المربع فى اليوم) عند معدل تدفق متوسط. بعد تعيين المساحة السطحية للحوض فإنه يمكن تعيين زمن المكث بعمـــق الحــوض. أحواض الترسيب الأولية عادة تتطلب زمن مكث من ٩٠ إلـــى ١٥٠ دقيقــة عنــد متوسط معدلات التدفق. يتراوح عمق الحوض ما بين ٢ إلى ٥ مــتر (٦ إلـــى ١٥ قدم) والمستخدم عادة هو ٤ متر (١٢ قدم). يكون من الضرورى توفـــير العمــق الكافى لمنع إعادة الحمل على طول قاع الحوض وكذلك لتجميـــع المــواد الصلبــة المترسبة، ولكن المبالغة فى مكث المواد الصلبة المترسبة يمكن أن ينتج عنه حالـــة لاهوائية. تحميل الهدار الموصى به هو تقريبا ١٢٤ متر مكعب/اليوم للمتر الطولى (١٠٠٠ جالون/ اليوم / القدم) عند تدفق متوسط.

إنشاءات الحوض فى حالة المعالجة المسبقة لمياه الصرف قد تختلف ما بيـــن الحفر فى التربة إلى منشأ خرسانى أو من الصلب. شكل الحوض يمكن أن يكـــون دائرى أو مستطيل. ملحق (هـ) بعض نماذج لأحواض الترسيب.

الأحواض الدائرية يمكن تغذيتها من المنتصف أو أن تكون التغذية محيطية فى حالة المروق بالتغذية من المنتصف (من المركز) شكل (٥/٧) فإن المياه الداخلـــة إلى البئر الدائرى تتوزع بالتساوى فى جميع الإتجاهــات. تجــهيزات النظافــة (أو قصابية الحمأة الرأسية ذات ٢-٤ ذراع) تحمل من عامود الإدارة المركزى وتــدور ببطئ. كذلك يمكن أن يحمل على الأزرع ريش كشط المواد الطافية. تصميم التغذية المحيطية تشمل وجود حائل (Baffle) دائرى محمل قريبا من جدار الحـــوض. تدخــل المياه مماسة إلى أسفل ثم تتدفق فى شكل حلزونى حول الحوض. الميــــاه الرائقــة تتدفق خلال هدار مركزى والخبث والدهون تظل على سطح الفراغ المحيطى.



شكل (٥/٧) المصفاة دقيقة الفتحات

تصمم الأحواض المستطيلة بقنوات دخول عبر نهاية المدخل وقنوات خروج المياه عند المخرج. معدة إزالة المواد المرسبة (الحمأة) يمكن أن تكون زوج من الناقلات اللانهائية أو السلاسل الملتصق بها زحافات خشبية. الزحافات والسلاسل تتحرك على طول قاع الحوض بسرعة بطيئة ما بين ٠,٠١ إلى ٠,٠٢ متر فى الثانية (٢-٤ قدم فى الدقيقة) حيث تجمع المواد الصلبة المترسبة فى قواديس. هذا بالإضافة إلى أن الخبث الطافى يتم تحريكه بواسطة الألواح الخشبية العائدة حيث يجمع عند نهاية الحوض.

التجهيزة التبادلية للنظافة هى الكوبرى المتحرك أعلا وأسفل الحوض على قضبان محملة على الحوائط الجانبية. للكوبرى واحد أو أكثر من ريش القصابية والتى ترتفع فوق الحمأة عند رحلة العودة. يمكن كذلك إزالة الخبث الطافى برش الماء أو بالقصابيات المتصلة بالكوبرى.

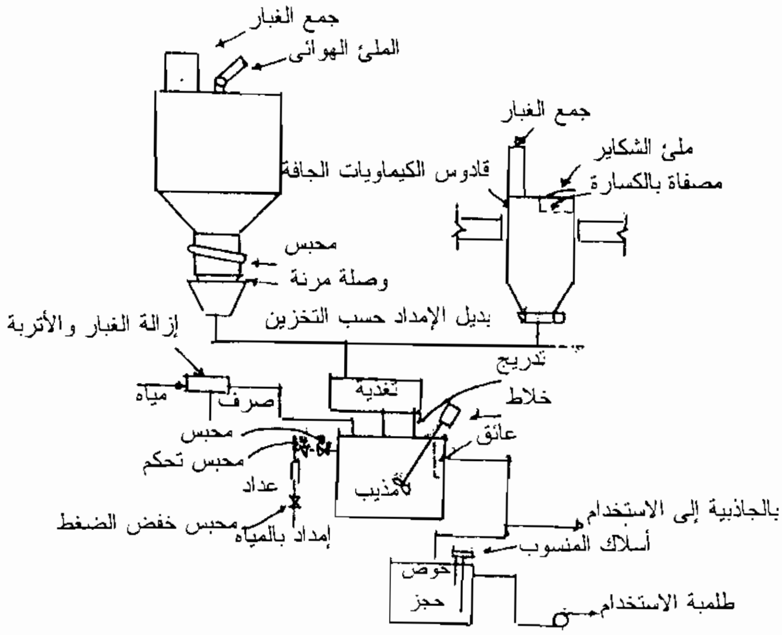
٤- *الترويب الكيماوى:* (*Chemical Coagulation*)

يمكن زيادة كفاءة الترسيب بالجاذبية بإضافة الكيماويات إلى مياه الصرف وذلك لالتصاق أو تجمع المواد الصلبة العالقة صغيرة الحجم والجيلاتينية أو الهلامية لتكون فى شكل زغبات عالقة (Floc's) أكبر يمكن التخلص منها بالترسيب أو الترسيخ. يحدث التزغيب الذاتى (Flocculation) بالخلط فقط بينما التزغيب الحثى يحدث (Induced) من الإضافة لكيماويات الترويب ويليها الخلط. الكيماويات المستخدمة هى كيماويات الترويب ومساعدات الترويب. كيماويات الترويب عبارة عن كيماويات أيونية بسيطة (Simple Electrolytes) تذوب فى الماء، وهى مواد غير عضوية ذات وزن جزيئى منخفض حامضية أو قلوية أو من الاملاح المتعادلة. أكثر الكيماويات إستخداما كمروبات هى أملاح الألومنيوم والحديد والكالسيوم وبالتحديد الآتى:

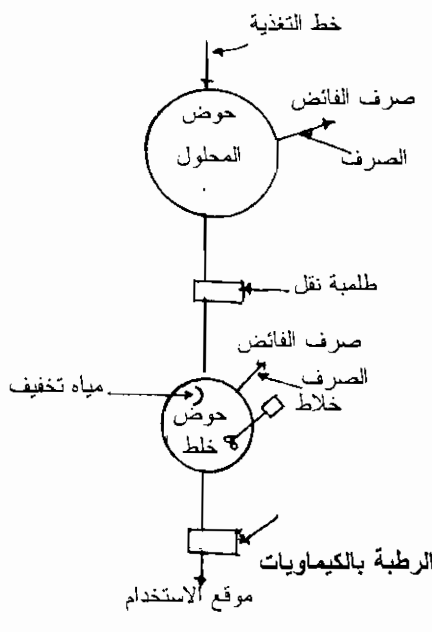
الجير المطفى $(CacOH)_2$، الشبه $AL_2(SO4)_3$، كلوريد الحديديـــك $(Fe\ Cl_3)$، كبريتات الحديدوز $Fe_2(SO4)_3$، ألومينات الصوديـــوم $(NaALO_3)$. أمـــا بالنســبة لمساعدات الترويب فهى تشمل جزئيات عضوية ذات التسلسل الطويل من البلمرات أو الإلكتروليت. كما أن البولـــى اليكـــتروليتس (Polyelectrolytes)، البنتونـــايت، السيليكا المنشطة من مساعدات الترويب المستخدمة عادة. افضل طريقــــة مؤثــرة ومفيدة لتعيين المروب أو مادة مساعدات الترويب لتعيين الجرعة وكذلك أفضل رقم هيدروجينى هو بعمل الإختبار القياسى للقنينه (Jar Test) مع قياس جهد زيتا (Zeta Potential) لمياه الصرف شكل (٤) الملحق (أ) مكونات نظام إضافــة الكيماويـــات يشمل إمكانيات التخزين للكيماويات، تغذية الكيماويات، خلط الكيماويـــات، الخلــط السريع للكيماويات مع الصرف، الترغيب.

تصمم نظم التغذية بالكيماويات للكيماويات الجافة، المحاليل السائلة. المروبــات فى الشكل الجاف يتم تحويلها عادة إلى المحلول أو المستحلب قبل خلطها مع ميـــاه الصرف. بعض المروبات مثل كبريتات الألومنيوم (الشبة) غير عدوانية فى الحالــة الجافة ولكنها تصبح عدوانية فى الحالة السائلة، لذلك فـــإن معـــدات تـــداول هـــذه الكيماويات يجب أن تكون مقاومة للتآكل. (الكيماويات المســتخدمة فـــى المعالجـــة الكيماوية ملحق (هـ).

التغذية الجافة بالكيماويات شكل (٨/٥) تتكون من القادوس، مغـــذى، حـــوض للإذابة، كما يجب أن يراعى فى التصميم خواص الكيماويات المســـتخدمة وأدنـــى وأقصى تدفق لمياه الصرف. بعض الكيماويات تتطلب التقليب أو الإهتزاز لتوفـــير إستمرار التدفق. التغذية الجافة يمكن أن تكون حجمية أو وزنية. تســتخدم التغذيـــة الوزنية عندما تكون الدقة مطولبة. البلمرات يصعـــب إذابتـــها ونظـــرا لإختـــلاف خواصها فإنه لايوجد نظام موحد للإذابة والتغذية، ولذلك فإن المنتج هو الذى يفيـــد فى هذا المجال. ولكن النظام الأكثر شيوعا هو حوض الإذابـــة المجـــهز بخـــلاط وطلمبة قياس . كما يلزم بلل المسحوق قبل دخوله إلى الحوض لإختصـــار زمـــن الخلط.



نظام التغذية بالكيماويات الجافة



نظام التغذية الرطبة بالكيماويات

شكل (٥/٨) التغذية الجافة والتغذية الرطبة بالكيماويات

فى نظام التغذية السائلة تستخدم طلمبة أو السحب الـدوار (Rotating Dipper) للكيماويات ذات الثبات والتى يتم التغذية بها فى الحالة السائلة، أو فى حالات عـدم الرغبة فى تداول الكيماويات الخطرة أو المسببة للأتربة أو عندما تكـون المـادة الكيماوية متاحة فقط فى الحالة السائلة. الطلمبات المستخدمة عادة هى ذات الدافـع (Piston)، ذات الرداخ موجبة الإذاحة، وطلمبات الـرداخ المتـوازن (Balanced). التحكم فى التغذية بالكيماويات يمكن أن يكون يدوى، بالتحكم الآلى طبقـا لمعـدل التدفق، أو كلا الطريقتين.

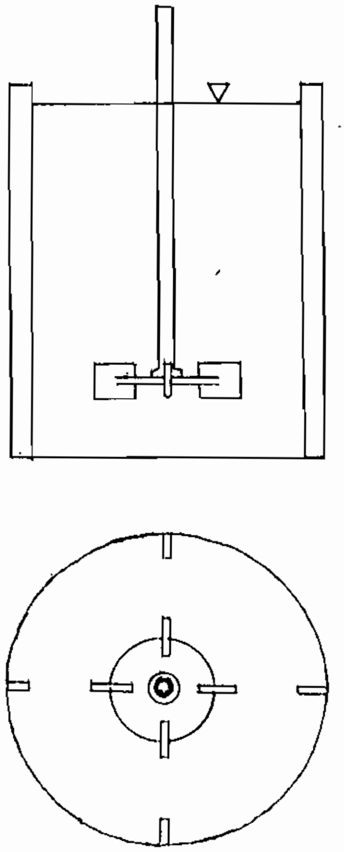
من الأهمية البالغة سرعة إنتشار المادة الكيماوية خلال مجرى التدفـق لميـاه الصرف لتوفير التقليب الكافى وزمن الخلط، حيث يتم ذلك عادة فى أحواض الخلـط كما أن خطوط سحب وصرف الطلمبات استخدمت كذلك بنجاح.

يتم الخلط السريع بخلاط مجهز بريش الخلط بعيدا عن مركز حـوض الخلـط يلى الخلط السريع الخلط البطئ حيث تسمح مساحة الخلط البطئ بتكون الزغبـات نتيجة تجمع الجسيمات الصغيرة جدا. زمن المكث للتزغيب يكـون ٢٠ إلـى ٣٠ دقيقة عند تصميم التدفق.

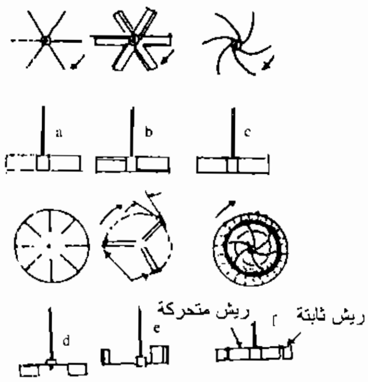
الطاقة اللازمة لإحداث التدرج المطلوب فى السرعة للتزغيب يمكن توفيرهـا بالطرق الهيدروليكية أو الميكانيكية أو باستخدام الهواء. بفضل إسـتخدام التقليـب الميكانيكى، حيث أنه يوفر توزيع منتظم للطاقة بما يحد من حدوث تفتت للزغبـات المتكونة. أشكال (٩، ١٠، ١١، ٥/١٢).

٥- الطفو: (Flotation)

الطفو هو العملية التى بها نفصل المواد الصلبة العالقـة أو الأجسـام السـائلة (كالزيوت) عن المجال السائل. (يتم الرجوع إلى فصـل مناقشـة الطفـو لإزالـة الزيوت). العوامل التى يجب مراعاتها عند التصميم تشمل ضغط التشـغيل، نسـبة الهواء إلى المواد الصلبة، زمن المكـث لعمليـة الطفـو، التحميـل الـهيدروليكى السطحى. يتم عمل الاختبار النصف صنـاعى (Pilot Testing) لتوفـير البيانـات التصميمية الصحيحة وخاصة فى حالة مياه الصرف الصناعى.

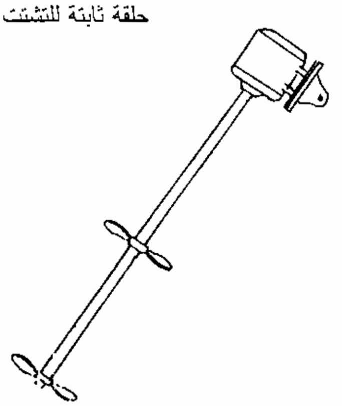


خلاط بمحرك فى حوض مجهز بعوائق



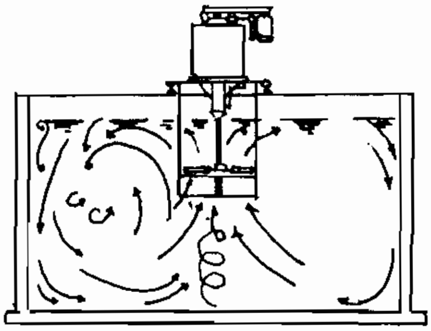
رافعات تربينية

a- ريش مستقيمة
b- ريش بزاوية ٤٥°
c- ريش منحنية
d- ريش القرص
e- رافع محورى
f- ريش منحنية فى وجود حلقة ثابتة للتشتت



خلاط الدافع

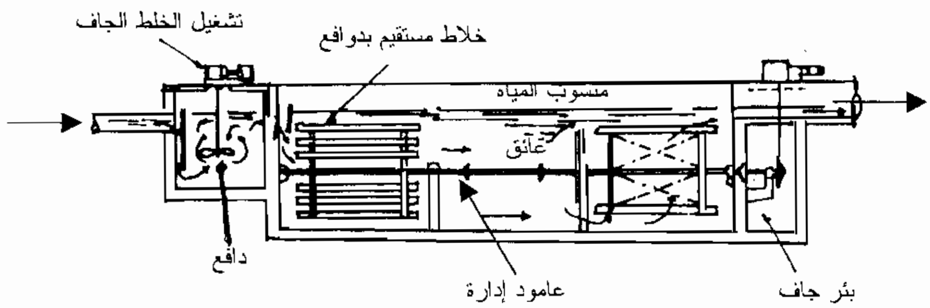
شكل (٥/٩) تجهيزات الخلط السريع



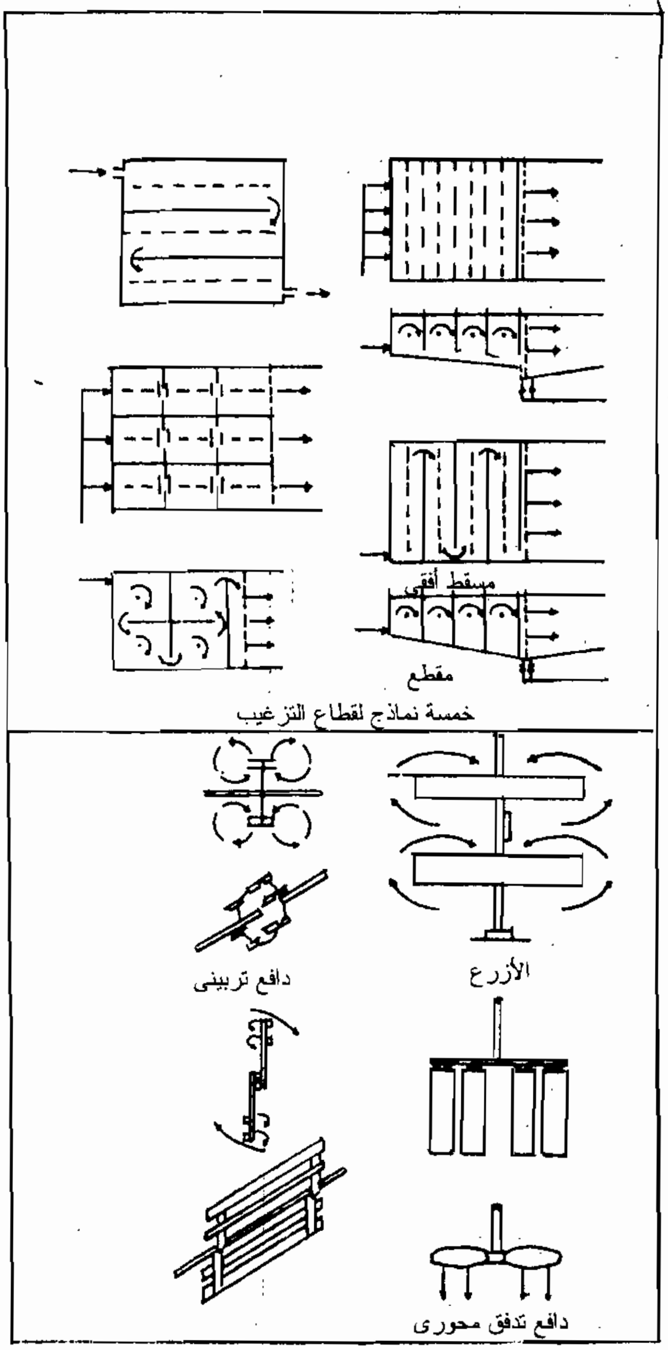
مزغب تربينى رأسى



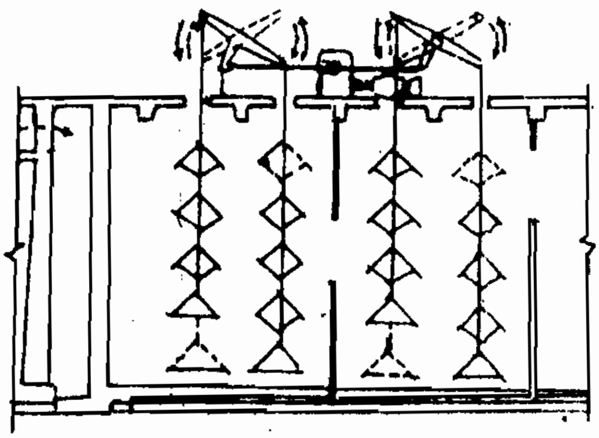
خلاط تربينى بعامود إدارة عمودى يليه تزغيب أفقى

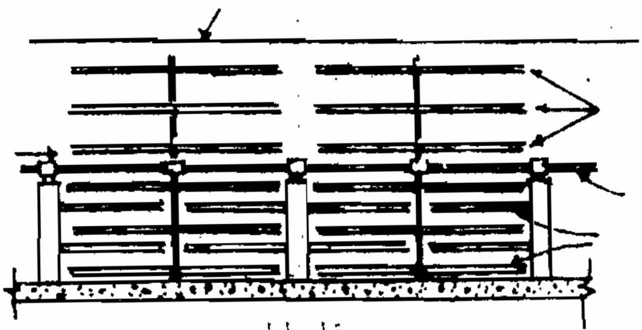


شكل (٥/١٠) الخلط البطئ

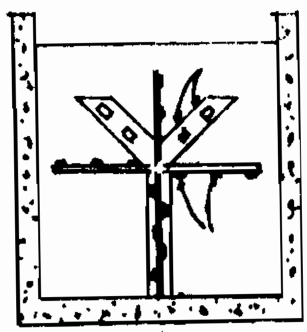


شكل (٥/١١) قلابات التزغيب الميكانيكى





مقطع طولى

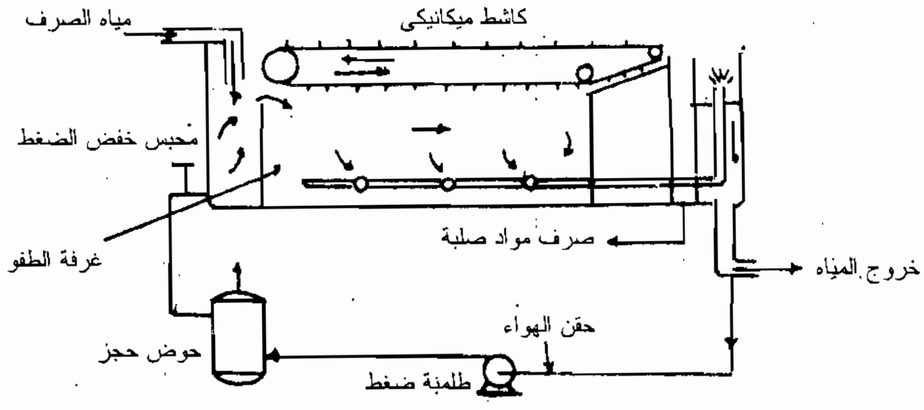


مقطع عرضى

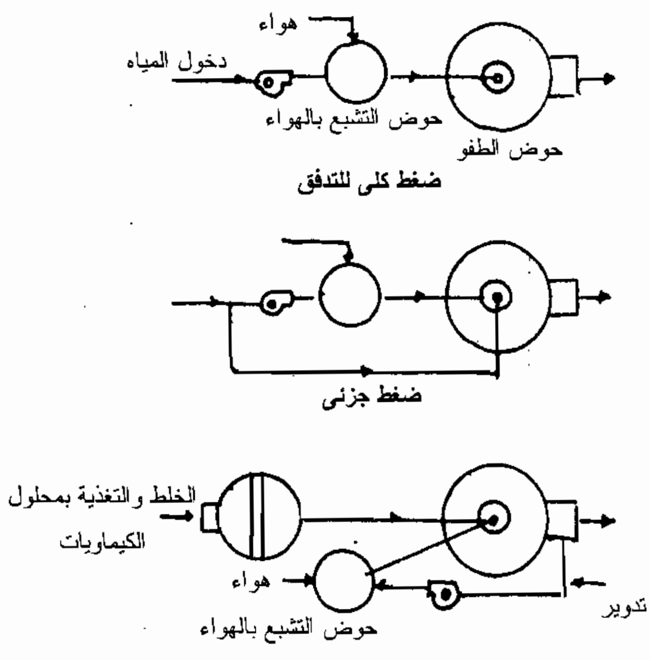
شكل (٥/١٢) مزغب الأزرع الدوارة

توجد طريقتين للطفو وهما الطفو بالجاذبية، الطفو بالهواء المذاب. الطفو بالجاذبية هو الميل الطبيعى للمواد الصلبة العالقة خفيفة الوزن والتى تسمى الخبث (Scum) للطفو على سطح السائل. هذه الظاهرة الطبيعية تستخدم فى حالة الترسيب. الطفو بالهواء المذاب حيث يتم حقن فقاعات الهواء الصغيرة فى السائل. الفقاعات التى تلتصق مع أو تحتجز الجسيمات العالقة، حيث تطفو إلى السطح مكونة طبقة يمكن إزالتها بعملية الكشط. مكونات الطفو بإذابة الهواء تشمل طلمبة ضغط، حوض حجز، محبس خفض الضغط، معدة حقن الهواء. وحوض طفو شكل (١٢، ١٣، ٥/١٤) يوجد نوعين من الطفو بالهواء المذاب. أحدهما بضغط تدفقات مياه الصرف مع الهواء عند ١٠٠ إلى ٣٠٠ كيلوبار (١-٣ ضغط جوى) ثم التحرر من الضغط إلى الضغط الجوى. الهواء المذاب الزائد عن التشبع عند الضغط الجوى عندئذ يتحرر فى شكل فقاعات صغيرة. والآخر هو الطفو بالتفريغ (Vacuum Flotation)، حيث يتم بتوفير تفريغ جزئى لمياه الصرف التى تشبعت بالهواء. التفريغ يقلل من إذابة الهواء، والذى ينطلق فى شكل فقاعات صغيرة. الطفو بالتفريغ أكثر صعوبة كما أنه ينتج مياه معالجة ذات نوعية أقل نسبة إلى الطريقة الأولى، لذلك فإنها لا تستخدم عادة.

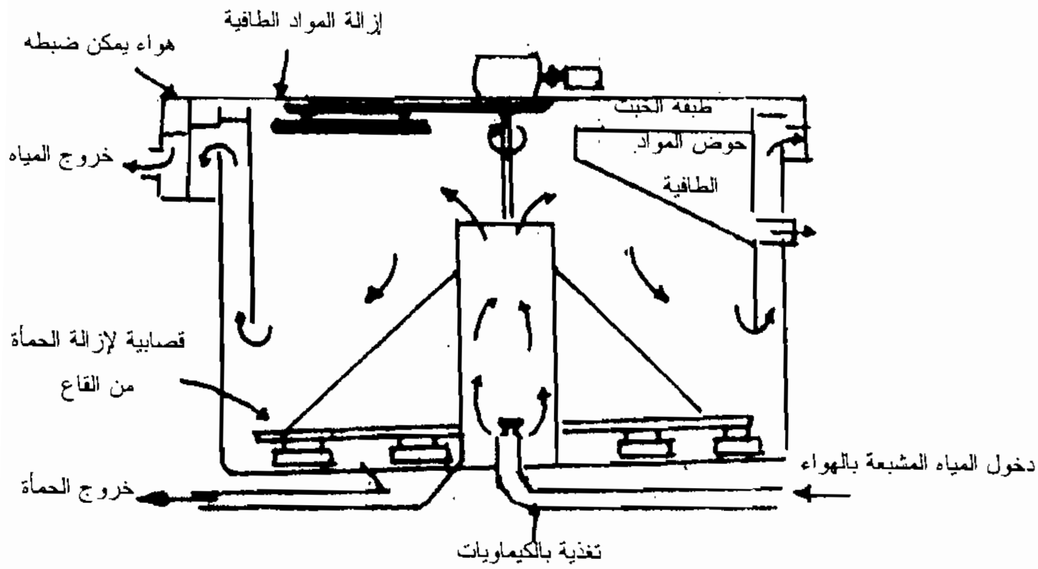
إضافة الكيماويات والتى تسبق أحيانا الترسيب والطفو قد تساعد فى إزالة المواد الصلبة العالقة. الكيماويات غير العضوية مثل الشبة وكلوريد الحديديك تساعد على تكون الزغبات. بعض الكيماويات العضوية تساعد على الطفو للمواد الصلبة العالقة وذلك بتغيير خواص السطح للمادة الصلبة. عندئذ فإن السائل أو فقاعات الهواء يساعد على التصاق فقاعات الهواء على المواد الصلبة العالقة.

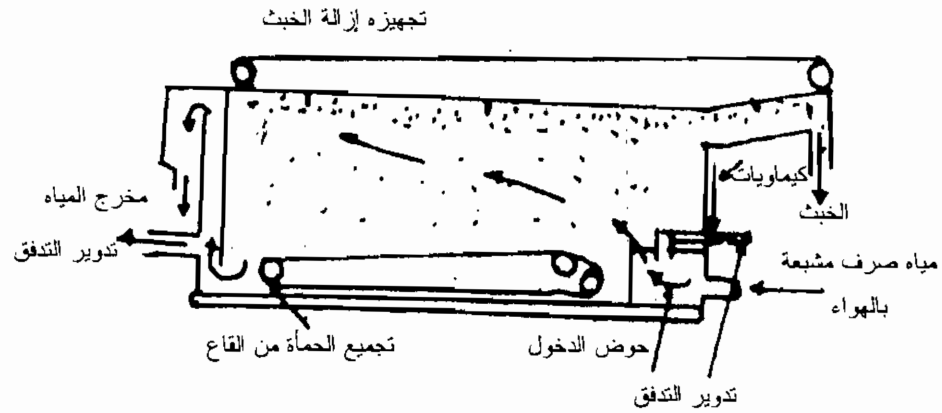


شكل (٥/١٢) المكونات الرئيسية لوحدة الطفو بالهواء المذاب وتشمل طلمبة ضغط، حوض حجز، محبس خفض الضغط، معدة حقن الهواء، حوض الطفو



شكل (٥/١٣) مختلف درجات ضغط الحوض تتوقف على طبيعة المخلفات المطلوب إزالتها





شكل (٥/١٤) وحدات الطفو بالهواء الاسطوانية والمستطيلة

فى حـــالة إستخدام الإضافات الكيماوية للمساعدة فى تكوين الزغبـــات فإنـــه يفضل إستخدام حقن الهواء مع تدفقات تدوير المياه الخارجية. بعد إضافـــة الـــهواء المضغوط، فإنه يتم جمع هذه التدفقات فى حوض مكث (Retention Tank) لفـــترة طويلة كافية لإذابة الهواء. تتدفق مياه الصرف بعد ذلك خلال محبس خفض الضغط إلى حوض الطفو، المعد لجمع وإزالة المواد الصلبة التى ترسب وكذلك تلك التـــى تطفو.

٦ - *الإزالة بالترشيح:* *(Bemoval by Filteration)*

يمكن استخدام الترشيح كعملية معالجة مسبقة لإزالة المـــواد الصلبـــة العالقـــة وخاصة عنـــدما يكون المطلوب الحصول على مياه ذات محتـــوى منخفـــض مـــن المواد الصلبة العالقة. الترشيح للمياه بعد المعالجة الأولية يزيـــل المـــواد الصلبـــة العالقة بكميات تعادل تقريباً الجزء الغير هلامى من المواد الصلبة العالقـــة. ســـيتم تناول الترشيح باستخدام الوسط الترشيحى الحبيبـــى وكذلـــك الترشـــيح باســـتخدام (Precoat Filteration).

الدراسة التفصيلية للترشيح متاحة فى مرجع تصميـــم محطـــات معالجـــة ميـــاه الصرف.

أ- الترشيح باستخدام الوسط الترشيحى الحبيبى: Granular Media Filteration

الترشيح بالوســـط الترشيحى الحبيبى يمكـــن أن يشـــمل الوســـط الترشـــيحى بالأحجام المتعددة أو بالحجم الواحد، وكذلـــك العمليـــات المســـتمرة أو المتقطعـــة للترشيح، وكذلك أنواع مختلفة من التدفق - الترشيح الرملى السريع والبطئ يعتـــبر غير مناسب لإزالة المواد الصلبة العالقة من مياه الصرف الصناعى بسبب متطلبات الصيانة المرتفعة وسرعة الإنسداد.

إستخدام الوسط الترشيحى المتعدد أو المزدوج هو الأكثر شيوعاً. هذه النظم تتكون من وسطين للترشيح أو أكثر مثل فحم الانثراثيت، الرمل، العقيق (Garnet) الذى له كثافة نوعية مختلفة. المرشحات تكون لها مساحات ذات تداخل طبقا للتدرج فى الحجم والكثافة للوسط الترشيحى المتعدد. المميزات النظرية للوسط الترشيحى المتعدد هو الإنخفاض المنتظم فى المسافة بين الحبيبات (Pore Space) مع زيادة عمق المرشح. حجم وعمق فحم الانتراثيت والرمل والعقيق يتغير طبقا للتحمل وقوة المواد الصلبة المطلوب إزالتها. التحميل السطحى المناسب يتناسب عكسيا مع الأحمال من المواد الصلبة العالقة. هذه الأنواع من المرشحات تتطلب معدلات عالية من الغسيل العكسى.

الإعتبارات التصميمية تشمل معدلات التحميل الهيدروليكى، نوع الوسط الترشيحى، نظام الغسيل العكسى، نظام التجميع والتوزيع، التحكم، تحسين الفقد الناتج عن الضغط. يفضل عمل تجارب نصف صناعية لتعيين قابلية مياه الصرف للترشيح. أقصى معدل ترشيح هيدروليكى يبنى على أقصى تدفق والتدفق التصميمى وتدفق مياه الغسيل العكسى من وحدة الترشيح. الأحمال الهيدروليكية تتراوح ما بين ١,٨ – ٦,٨ لتر / المتر المربع فى الثانية (٢,٧ – ١٠ جالون فى الدقيقة لكل قدم مربع). معدل غسيل المرشح يختلف ما بين ١٠ – ١٤ لتر على المتر المربع فى الثانية (١٥ – ٢٠ جالون فى الدقيقة على القدم المربع).

قطر حجم حبيبات الوسط الترشيحى يحدد إختراق المواد الصلبة فى المرشح. فى حالة زيادة قطر حجم حبيبات الوسط الترشيحى فإن المياه المرشحة تكون ذات نوعية متدنية، وفى حالة صغرها فإن المواد الصلبة تتراكم على السطح، بما يعمل على إختصار دورة الترشيح. الوسط الترشيحى بالشكل المستدير هو المفضل، حيث أنه يميل إلى الدوران أثناء الغسيل، ويحرك الحبيبات المجاورة ويحرر المواد الصلبة الملتصقة بسهولة. عمق المرشح يجب أن يكون أكثر من عمق الإختراق

بنسبة ٥٠ - ١٠%. الوسط الترشيحى صغير الحبيبات يجب أن يكون عمقــه ١٥٠ مليمتر (٦ بوصة) أو أكثر وقطر الحبيبات يكون ٠,٣٥ مليمتر (٠,٠١٤ بوصـــة). قطر الحبيبات الكبيرة فى الوسط الترشيحى لايزيد عن ٢ مليمتر (٠,٠٨ بوصة).

عند الغسيل العكسى والنظافة، يحدث تمدد للحبيبات الصغيرة بنسبة ١٠%. من الناحية العملية عملية الترشيح تتطلب تدفق كلى للغسيل العكسى حوالى مــن ٣١٠٠ إلى ٤١٠٠ لتر / المربع (٧٥ إلى ١٠٠ جالون/القدم المربع)، وهذا التحميل مستقل عن معدل الغسيل العكسى. هذا بالإضافة أن الغسيل بالهواء (Air Scouring) يكـون مطلوب عادة حيث أنه يعمل على غسيل وتقليب السطح وما تحت الســطح لإزالــة كرات الطمى. مياه الغسيل العكسى هى عموماً المياه المرشحة من المرشح.

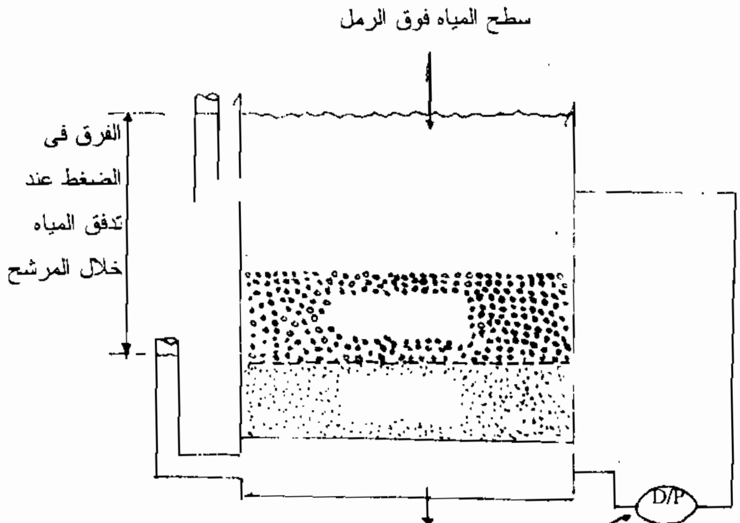
التحكم يمكن أن يكون محلى يدوى، أو يدوى عــن بعــد (Remote) أو آلـــى. إشارة التحكم سواء كانت الفقد فى الضغط أو عكارة المياه المرشحة، قــد تســتخدم لإخراج المرشح من الخدمة، وغسيله، ثم الترشيح وصرف المياه المرشـــحة حتـــى تكون المياه المرشحة بحالة مرضية ثم عودة المرشح إلى الخدمة. النظم التقليديـــة تشمل نظام صرف سفلى لجميع المياه المرشحة وتوزيع مياه الغسيل العكسى. يجب أن يراعى فى التصميم ضرورة إضافة المروب.

ب- الترشيح بالوسط الترشيحى المغطى: (Precoat Filteration)

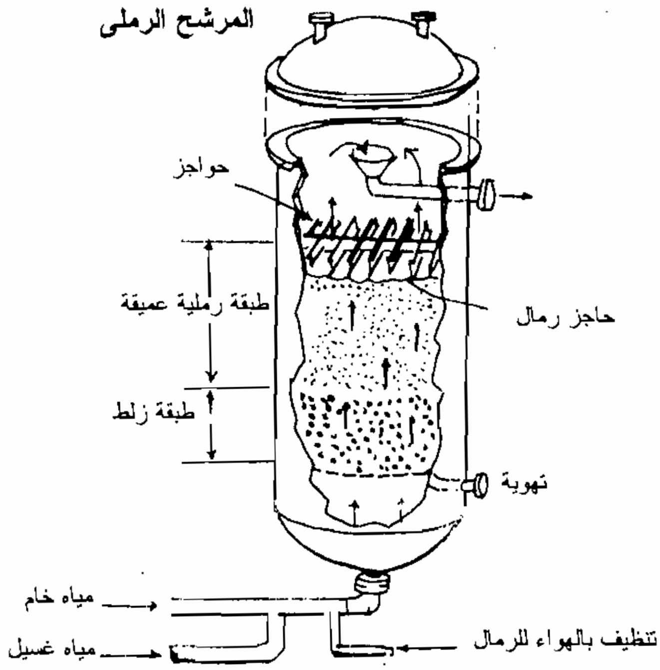
مرشح الوسط الترشيحى المغطى هو أســطوانة دوارة - (Rotary Drum) عــادة تستخدم لترشيح مياه الصرف المحتوية عل مواد صلبة صغيرة الحجم أو هلاميـــة والتى يمكن أن تحدث إنسداد فى المرشح. الوسط الترشيحى يكون مغطـــى بطبقـة مسامية من مساعد الترشيح مثل مواد التربة الدياتوميـــة (Diatomacious Earth). عندئذ يتم ترشيح مياه الصرف تاركا طبقة رقيقة من المواد الصلبة. هــذه المــواد الصلبة والطبقة المسامية من مساعد الترويب يتم كشــطها مــن الأســطوانة، مـــع

إستمرار تعرض سطح جديد من المادة المسامية لمياه الصـــرف. مرشـــح الوســـط الترشيحى المغطى قـــد يعمل كذلك بالضغط فى حالة النوع الذى يعمل بـــــالضغط، فإن مخلفات المواد الصلبة ومساعد الترويب المتجمع يزال من آن إلى آخـــر عنـــد الضغط الجوى بينما تدور أسطوانة المرشح مع مساعد الترشيح.

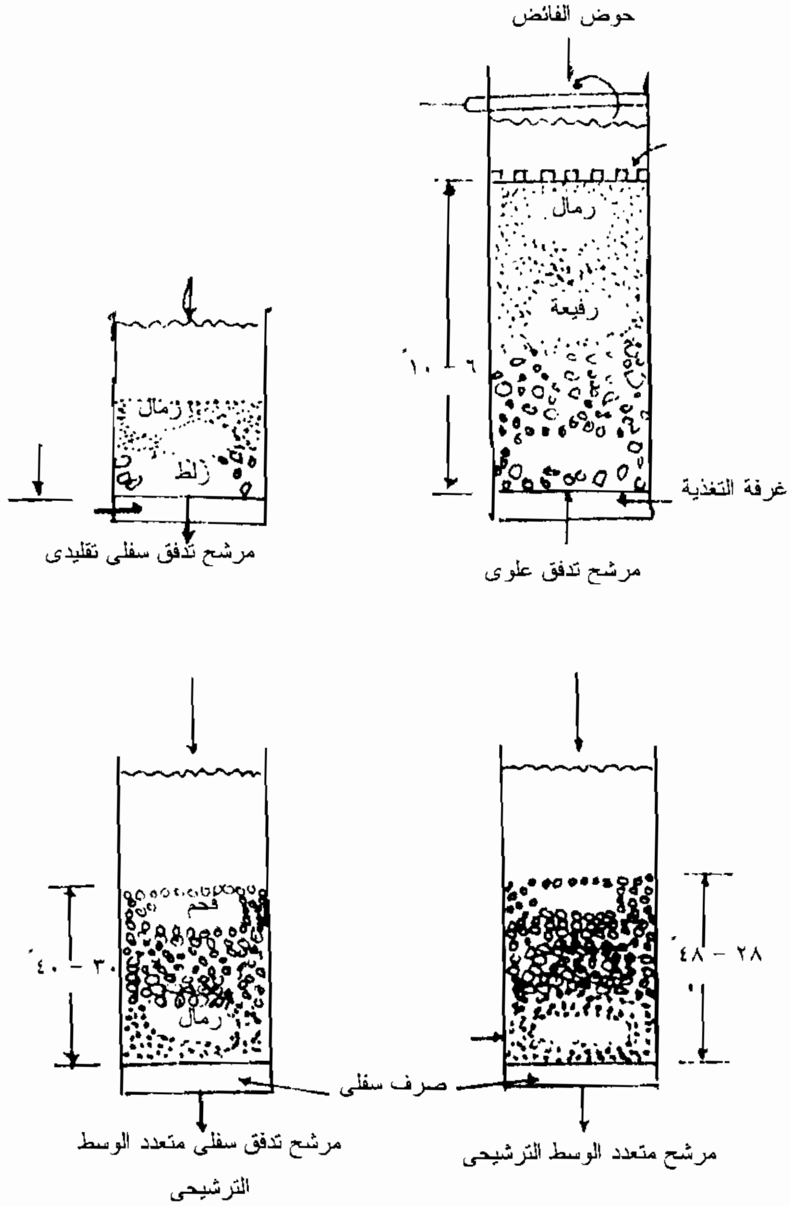
الأشكال أرقام (١٥، ١٦، ١٧، ١٨، ٥/١٩).



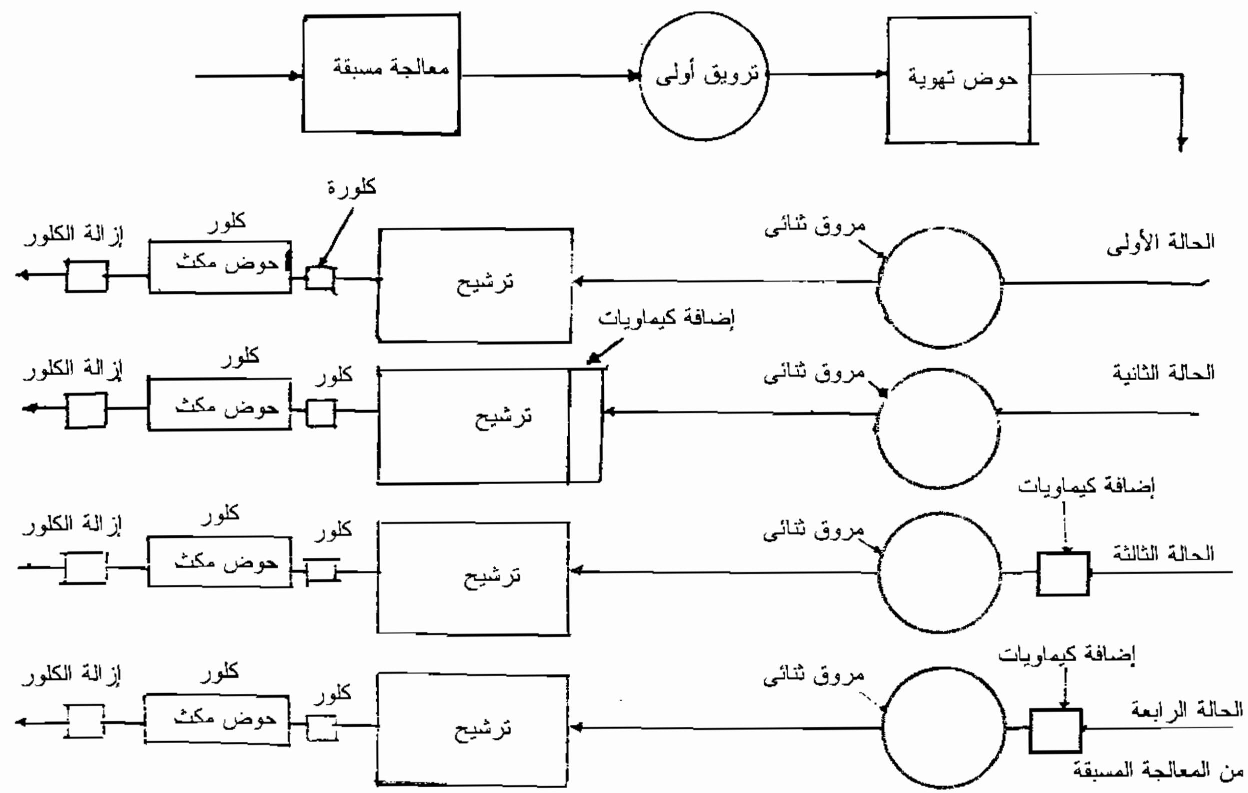
شكل (٥/١٥) الفرق فى الضغط خلال المرشح الرملى



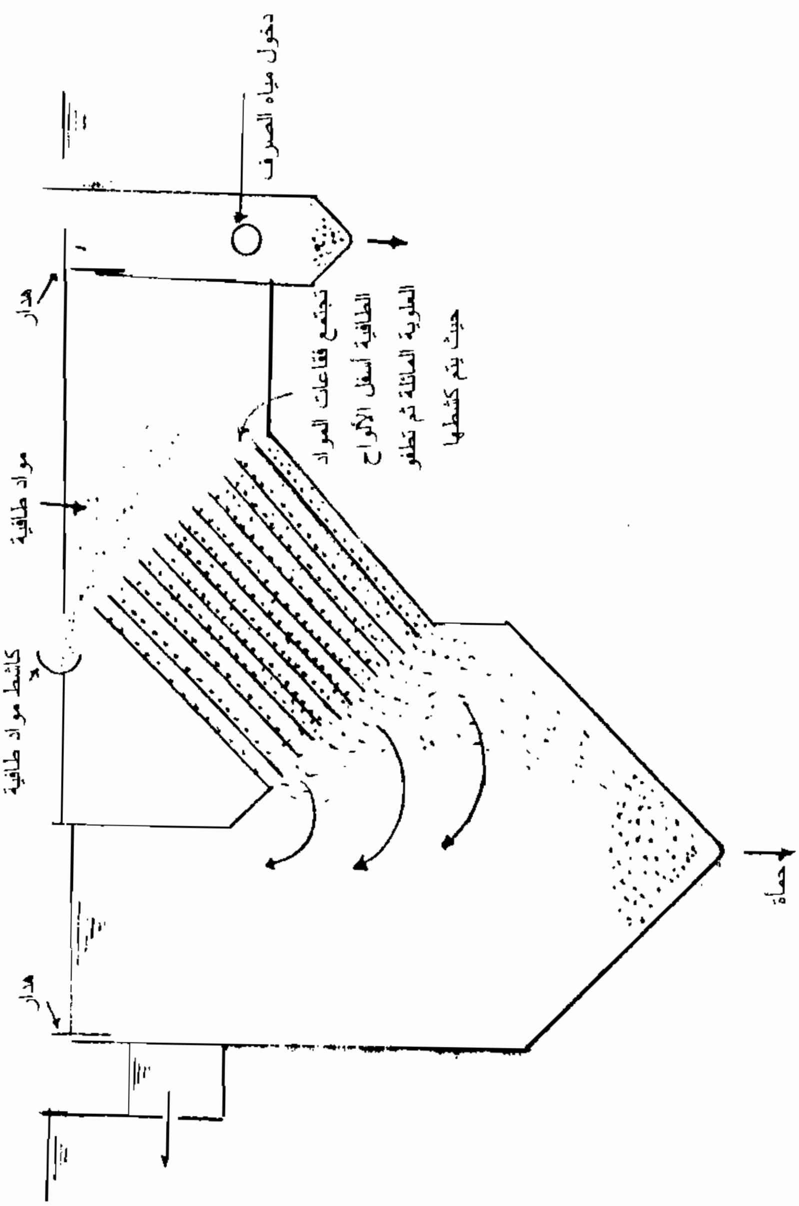
شكل (٥/١٦) مرشح التدفق العلوى



شكل (٥/١٧) أنواع المرشحات



شكل (٥/١٨) أربع نماذج ممكنة لاستخدام المرشحات فى إزالة المواد الصلبة العالقة



شكل (٥/١٩) حوض فصل المواد الطافية والعالقة بالأسطح المائلة

الفصل السادس

التعـــادل Neutralization

١- التعادل بضبط الرقم الهيدروجينى (pH)

إن تصحيح الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف الصناعى شـــديدة الحموضـــة أو شديدة القلوية يعتبر إجراء أساسى قبل الصرف على شبكات الصرف وقبل المعالجة البيولوجية أو المعالجة الكيميائية أو الطبيعية. مياه الصرف شـــديدة الحموضـــة أو القلوية قد تسبب تلف كبير لأداء وكفاءة العمليات وكذلك لنظـــم المعالجـــة وجمـــع المياه.

إقتصاديات ضبط الرقم الهيدروجينى تتطلب المفاضلة بينها وبيـــن التخفيـــف. بالإضافة إلى أن ضبط الرقم الهيدروجينى يتطلب أن يؤخذ فى الإعتبار التفـــاعلات الضارة التى قد تحدث فى شبكة التجميع كنتيجة لإضافة الكيماويات. لذا فإن عمليـــة التعادل أكثر من أن تكون مجرد حساب كمية المواد المساعدة فى التعـــــادل لميـــاه الصرف.

عملية التعـــادل الناجحة تتطلب الإختبارات اللازمة لنجاح التصميم والإقـــلال من المخلفات. وقبل التصميم الميكانيكى فإنه يلزم عمل هذه الاختبـــــارات لتحقيـــق نجاح النتائج ولتحقيق الكفاءة الاقتصادية للتكاليف الرأسمالية، وتكـــاليف التشـــغيل. وهذه الاختبارات تشمل العناصر الآتية:

- تحليل مياه الصرف.
- بيانات الصرف.
- كيماويات التعادل وتفاعلاتها.
- تحليل التكلفة لكيماويات التعادل.
- إختبار طريقة التعادل.
- نظام التحكم فى طريقة التعادل.

والمهم كذلك الكمية الكلية والتغيرات فى التدفق بما فيها المياه الناتجة عن العمليات الدفعة الواحدة (Batch Dumps) والتى قد تحدث بطريقة متقطعة. طبيعة مياه الصرف التى يلزم معادلتها تختلف من مصنع إلى آخر من نفس نوع الإنتاج الصناعى وذلك يتطلب التعرف على الخبرة السابقة فى المصانع المشابهة وما تحقق من نجاحات وما لم يتحقق. كمثال: فى دراسة ظهر أن نقص قوة الدرئ (Buffer Capacity) المطلوب معادلتها يجعلها مهمة صعبة وإن لم تكن مستحيلة وذلك للمحافظة على الرقم الهيدروجينى فى المستوى المطلوب. قوة الدرئ يعنى بها قوة المحلول على مقاومة التغير فى الرقم الهيدروجينى وهى تكون نتيجة وجود الأحماض الضعيفة وأملاحها أو القلويات الضعيفة وأملاحها. كثيرا من العمليات الصناعية لاتضيف المواد التى توفر الدرئ فى مجال رقم هيدروجينى مقبول للصرف، وذلك فى حالة أن الدرئ الموجود طبيعى فى المياه قد تم تدميره. هذه الدراسة أظهرت أن إضافة الدرئ إلى المياه قد يحقق نتائج إقتصادية مع سهولة التحكم فى نظام عملية التعادل.

الجدول التالى يوضح الصناعات المنتجة لمياه الصرف الحامضية أو القلوية

الصناعة	مياه الصرف الناتجة
الألومنيوم	حامضى
النحاس والنحاس الأصفر (Brass)	حامضى وقلوى
البيرة والمقطرات والمعلبات	حامضى وقلوى
المشروبات الغازية	قلوى
المصانع الكيماوية	حامضى وقلوى
كيماويات إزالة العسر	قلوى
صرف مناجم الفحم	حامضى
الغراء	حامضى
الحديد والصلب	حامضى وقلوى
المنسوجات	حامضى وقلوى
المطاط	حامضى وقلوى
الورق ولب الورق	حامضى وقلوى
تنشيط التبادل الأيونى وإزالة الأملاح	حامضى وقلوى
الفوسفات	حامضى
تنظيف محطات القوى وصرفها	حامضى وقلوى
الصناعات الدوائية	حامضى وقلوى
المبيدات	حامضى
تكرير الزيوت	حامضى وقلوى
دباغة الجلود	حامضى وقلوى

تعريف الرقم الهيدروجيني والعوامل المتعلقة بعمليات التعادل:

المصطلح المستخدم للتعبير عن الحموضة أو القلوية لمحلول هو الرقم الهيدروجيني (pH - Value)، والذى هو اللوغاريتم السلبى لتركيز أيون الهيدروجين.

$$pH = Log \frac{1}{[H^+]} \quad \text{أو} \quad PH = -Log [H^+]$$

ذلك لأن المياه النظيفة عندما تتأين إلى درجة ما فإنه ينتج أيون الهيدروجين وأيون الأيدروكسيد بتركيزات متساوية كالآتى:

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$

درجة التأين للماء النظيف هى أساس قياس الرقم الهيدروجينى ويعبر عنه بثابت الأيون للماء. من قانون التفاعل الكيميائى للكتلة فقد تحدد أن ناتج تركيز أيون الهيدروجين والإيدروكسيد هو ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ أو ١٠^-١٤^ حيث أن ١٠^-٧^ للهيدروجين، ١٠^-٧^ للإيدروكسيد. ولذلك فإنه يعبر عن الرقم الهيدروجينى باللوغاريتم السلبى لتركيز أيون الهيدروجين $pH = - Log[H^+]$ تدريج الرقم الهيدروجينى من صفر إلى ١٤ حيث نقطة التعادل هى ٧ وهى الرقم الهيدروجينى للمياه النظيفة عند درجة حرارة ٢٥°م. المحاليل القلوية لها رقم هيدروجينى أكبر من ٧ بينما المحاليل الحامضية أقل من ٧. نظراً لأن قياس الرقم الهيدروجينى هو بدلاله لوغاريتميه فإن المحلول ذو الرقم الهيدروجينى ٥ يحتوى على أيونات هيدروجين نشطه عشرة أضعاف المحلول ذو الرقم الهيدروجينى ٦ وعلى العكس فإن المحلول ذو الرقم الهيدروجينى ٢ به ١٠٠٠ ضعف أيون هيدروجينى نشط نسبة إلى المحلول ذو رقم هيدروجينى ٥. يختلف تركيز أيون الهيدروجين عكسيا مع تركيز أيون الايدروكسيد بمصطلح جرام أيونى فى اللتر $H^2 O \rightleftharpoons H^+ + DH^-$ عند إضافة قلوى للماء ينتج أيون الأيدروكسيد (OH^-) ويقل تركيز أيون الهيدروجين

(H^+) حيث يصبح المحلول قلوى ويرتفع الرقم الهيدروجينى عن مجال التعـــادل ٧. وعند إضافة حامض للماء تنتج أيونات هيدروجين إضافية (H^+) ويزداد تركيز أيون الهيدروجين.

يوصف الحامض بأنه ضعيف أو قوى طبقاً لعدد أيونات الـــهيدروجين التـــى تنطلق عند إضافة كمية معينة من الحامض إلى الماء. وكذلك يوصف القلوى بأنـــه ضعيف أو قوى طبقاً لعدد أيونات الأيدروكسيد التى تنطلق عند إضافة القلوى إلـــى الماء. يعتبر حامض النيتريك (HNO_3) حامض قوى نظراً لأن كل جزئياته تقريبـــاً تتحلل فى الماء منتجة أيون هيدروجين وأيون نترات. وعلى العكس فإن الحـــامض الضعيف مثل حامض الخليك (Acetic Acid) ينتج عدد قليل من أيونات الهيدروجين فى المحلول المائى. لذلك فإن مجرد القياس للرقم الهيدروجينى لمحلول مـــن حـــامض النيتريك وآخر من حامض الخليك حيث التركيز متشابه فـــى الحـــالتين إلا أنـــه لا يعطى نفس النتائج للرقم الهيدروجينى. لذلك فإن مجرد القياس للرقم الـــهيدروجينى التقليدى لايمكن من معرفة كمية القلوى المطلوب إضافته لمعادلـــة الحـــامض فـــى الحالتين. ففى حالة محلول حامض النيتريك فإن كل أيونات الهيدروجين المطلـــوب معادلتها موجودة أصلا ويمكن قياسها بمقياس الرقم الهيدروجينى. بينما فـــى حالـــة حامض الخليك فإنه ضعيف جداً فى التأين إلى أيونات الهيدروجين والخلات.

$$CH_3\,COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3\,COO'$$

مع إتحاد أيون الهيدروجين مع أيون الأيدروكسيد لتكوين ماء لايتحلل فإن كمية إضافية من حامض الخليك تتحلل للمحافظة على الرقم الهيدروجينى المنخفض فـــى المحلول. ولذا فإن قياس الرقم الهيدروجينى لا يعطى معلومات تامـــة عـــن كميـــة القلوى اللازم إضافتها لمعادلة حامض الخليك. رغم محلول من حامض قـــوى قـــد يكون منخفض الرقم الهيدروجينى عن محلول من حامض ضعيف مع وجود نفـــس الكميات المكافئة من الحامضين إلا أن الحموضة الكلية فى كليهما واحدة. تتعـــادل

كميات متساوية من المحلولين باستخدام كميات متساوية من القلوى. المحلول المخفف من حامض قوى يمكن أن يكون له رقم هيدروجينى لمحلول مركز من حامض ضعيف. كلا المحلولين رغم هذا يتطلبان كميات مختلفة من القلوى لمعادلة أحجام متساوية من المحلولين.

لذلك فإن التحديد المناسب لكمية القلوى اللازمة لمعادلة الحامض يتطلب أكثر من مجرد قياس الرقم الهيدروجيني. فإذا كانت تدفقات مياه الصرف يلزم تغيير الرقم الهيدروجينى لها من ٢ إلى ٧ أو إلى ٨ فإنه يلزم استخدام تحكم شديد الحساسية لإضافة القلوى. وفى حالة عدم توفر هذه الحساسية فإنه يمكن حدوث تجاوز كبير فى الرقم الهيدوجيني بما يسبب مشاكل فى إتجاه القلوية. تحدث مشاكل أخرى عند معادلة الحامض وذلك عند التغير الكبير فى معدل التدفق لمياه الصرف الحامضية فبالإضافة إلى التحكم فى التغير فى الرقم الهيدروجينى فإن نظام التعادل يتطلب كذلك أن يعادل (أو يعوض) التغير فى معدل التدفق.

التحكم المناسب فى الرقم الهيدروجينى قد يعتمد على حالات كثيرة مثل معدل التدفق لمياه الصرف اللازم ضبط رقمها الهيدروجيني، تركيز الحامض أو القلوى، التغير فى تركيز الحامض أو القلوى، التغير فى معدل التدفق، طريقة إضافة مادة التعادل، الدقة اللازمة للتحكم فى الرقم الهيدروجيني، الوضع العام لنظام المعالجة، يجب الأخذ فى الإعتبار نظام التحكم فى الرقم الهيدروجينى لكل حالة على حدة.

٢- أثر الرقم الهيدروجينى على عمليات المعالجة لمياه الصرف:

يعتبر قياس الرقم الهيدروجيني والذى يدل على تركيز أيون الهيدروجين دلالة هامة لنوعية المياه الخام الطبيعية أو مياه الصرف. ومجال الرقم الهيدروجينى اللازم لوجود بعض الكائنات البيولوجية ضيق إلى حد ما. مياه الصرف ذات رقم هيدروجينى غير مناسب يصعب معالجتها بالطرق البيولوجية. يلزم ضبط الرقم

الهيدروجينى لمياه الصرف قبل معالجتها أو قبل صرفها على المصارف الطبيعية. معظم الكائنات البكتيرية لاتستطيع مقاومة المجال الهيدروجينى أكبر من ٩ وأقل من ٤. عموما أقصى مجال للنمو البيولوجى يقع ما بين ٦,٥ إلى ٧,٥. وأقصى مجال لمعظم الفطريات هو حوالى ٥,٦ فى مجال ما بين ٢ إلى ٩، وعند ظروف الرقم الهيدروجينى المنخفض فإن نمو الفطريات قد يكون أسرع. إن قدرة الفطريات على الحياه فى ظروف الرقم الهيدروجينى المنخفض وظروف قلة النيتروجين يجعلها هامة فى المعالجة البيولوجية لبعض مخلفات الصرف الصناعى وفى معالجة المركبات العضوية من المخلفات الصناعية الصلبة.

تستخدم الطحالب ثانى أكسيد الكربون فى نشاطها بالتمثيل الضوئى (Photosynthesis). أثناء ذلك قد يرتفع الرقم الهيدروجينى أما أثناء الليل فإن الطحالب تنتج ثانى أكسيد الكربون والذى يعمل على خفض الرقم الهيدروجينى.

تفاعلات مياه الصرف مع كيماويات التطهير من مركبات الكلور تتأثر كذلك بالرقم الهيدروجينى. فالكلور مع مياه الصرف يكون حالة من الإتزان ما بين حامض الهيبوكلورس (HOCL) وأيون الهيبوكلوريت (OCL'). تأثير الهيبوكلورس أشد بالنسبة لقتل الكائنات الدقيقة، التغير فى الرقم الهيدروجينى قد يؤثر على كفاءة التطهير. فعند رقم هيدروجينى ٤ فإن معظم الكلور الكلى يكون فى شكل حامض الهيبوكلورس أما عند رقم هيدروجينى ٩ فإن معظم الكلور يكون فى شكل أيون الهيبوكلوريت الذى هو أقل أشكال الكلور تأثيراً فى أغراض التطهير. وعند رقم هيدروجينى ٧ فإن ٧٠-٨٠% من الكلور يكون فى شكل حامض اليهبوكلورس.

المعالجة المناسبة للرقم الهيدروجينى يلزم أن تحقق المجال من ٥-١٠ والذى يقبل فى بعض الحالات وإن كان المجال المناسب للرقم الهيدروجينى هو من ٦-٨,٥ لإمكان الصرف على المسطحات المائية أو فى شبكات الصرف. قد تستخدم

مياه الصرف الحامضية والقلوية لمعادلة بعضها البعض وذلك عند إنتاجها فى نفس المنشأة الصناعية.

التسوية (Equalization) تساعد فى خفض الفروق الكبيرة فى الرقم الهيدروجينى داخل المصنع. التعادل الذاتى (Self Neutralization) له حدوده وعادة يتطلب إضافات من الحامض أو القلوى وذلك للوصول بمياه الصرف إلى الرقم الهيدروجينى المطلوب. حامض الكبريتيك هو الأكثر استخداما لمعادلة القلوية الزائدة وذلك رغم أن أحماض أخرى يمكن إستخدامها فى حالة توفرها. يستخدم أحيانا ثانى أكسيد الكربون فى شكل غازات عادم الحريق وذلك فى حالة توفر المعدات المناسبة لحقن هذه الغازات. بالنسبة لمياه الصرف الحامضية فإن المستخدم عادة هو إيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم، لبن الجير ($Ca(OH)_2$)، الحجر الجيرى والنشادر. التخلص من النشادر فى مياه الصرف باستخدام الغسيل (Stripping) بالهواء أو البخار يتطلب رقم هيدروجينى مرتفع والذى يتم توفيره بإضافة الجير المطفى أو الصودا الكاوية. الرقم الهيدروجينى المرتفع يحول إيدروكسيد النشادر ($NH_4\ OH$) إلى النشادر الحرة (NH_3) والتى تزال كغاز فى عملية الغسيل بالهواء أو بالبخار. يستخدم أحيانا حامض الكبريتيك للحصول على رقم هيدروجينى منخفض لإزالة الفينولات. الرقم الهيدروجينى المنخفض مطلوب كذلك فى إختزال الكروم سداسى التكافؤ إلى الكروم ثلاثى التكافؤ فى عمليات الترسيب المعدنى. الرقم الهيدروجينى المرتفع نسبيا يساعد على ترسيب معظم المعادن الثقيلة كإيدروكسيدات، عادة يرفع الرقم الهيدروجينى من ٨ إلى ٩,٥. أقصى نمو البكتريا النترجة (Nitrifying Bacteria) هو فى المجال من ٨ إلى ٩. أثناء تحول النشادر إلى نترات تنتج حموضة وفى حالة عدم وجود قلوية كافية عندئذ ينخفض الرقم الهيدروجينى بما يعيق عملية النترجة. حوالى ٧,١ ملجرام

من القلوية ككربونات كالسيوم يتم تدميرها (Destroyed) لكل واحد ملجـــرام مـــن النيتروجين الذى يتأكسد.

يعتبر الصرف للمياه ذات الرقم الهيدروجينى المنخفض إلى شبكات الصـــرف الصحى شديد الخطورة على الشبكات ومحطات المعالجة الصغيرة. ولكن فى حالـــة محطات الصرف الصحى الكبيرة حيث توجد كميات كبيرة مـــن ميـــاه الصـــرف للتخفيف وللدرئ (Buffer) بما لايحدث تأثير واضح على وحـــدة المعالجـــة مـــن الأحجام الصغيرة للصرف الصناعى ذات الرقم الهيدروجينى المنخفض. التدفقـــات الغير متوقعة من مياه الصرف ذات الرقم الهيدروجينى المنخفض يمكن أن تســـبب إرتباك بيولوجى فى وحدة المعالجة. ميـــاه الصـــرف ذات الرقـــم الـــهيدروجينى المنخفض تسبب مشاكل اكثر خطورة عن تلك ذات الرقم الـــهيدروجينى المرتفـــع. أثناء النشاط البيولوجى فإن غاز ثانى اكسيد الكربون الناتج بواسطة الكائنات الدقيقة يميل إلى خفض الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف القلوية. النشاط البيولوجى يعـــادل (Neutralize) إلى درجة ما الرقم الهيدروجينى للمياه ذات القلوية العالية.

إن مياه الصرف ذات الرقم الهيدروجينى المنخفض عند صرفها فـــى شـــبكة الصرف للمعالجة قد يكون لها تأثير خطير فى حالـــة وجـــود بعـــض المركبـــات الكيماوية فى الشبكة كالآتى:

- عند التصاق أيون السيانيد فى حالة وجوده فى مياه الصرف مع مخلفات ذات رقم هيدروجينى منخفض فإن هذا الإلتصاق يسبب تصـــاعد غـــاز ســـيانور الهيدروجين (HCN) وهو غاز شديد السمية وقد يسبب أضرار للعمالة التـــى تقوم بصيانة الشبكة.
- وكذلك فى حالة وجود أملاح الكبريتيدات (Sulphides) فى مياه الصرف فقـــد يسبب هذا تصاعد غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) عنـــد إنخفـــاض الرقـــم

الهيدروجينى لمياه الصرف وهذا الغاز يسبب خطورة على العمالة القائمة بصيانة الشبكة.

- كلا من غاز السيانيد وغاز كبريتيد الهيدروجين يسببان سمية للعمالة فى محطة المعالجة الموجودة فى مساحة مغلقة وذلك عند تصاعد هذه الغازات.
- غاز كبريتيد الهيدروجين يسبب كذلك تآكل للمواسير الأسمنتية وذلك عند عدم وجود حماية لهذه المواسيد ضد الأحماض حيث قد يتأكسد غاز ثانى كبريتيد الهيدروجين بالأداء البيولوجى مكونا حامض كبريتيد والذى يسبب تآكل للجزء الداخلى من الماسورة فوق منسوب سطح تدفقات مياه الصرف.

٣- تحليل الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف ومنحنيات المعايرة:

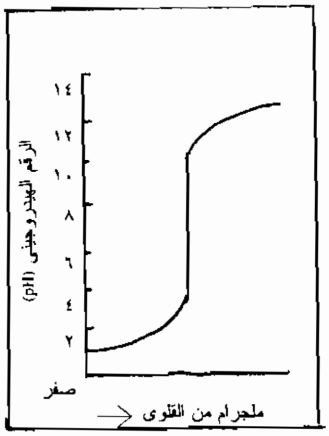
Analysis of Waste Water pH and Titration Curves:

هناك حدود للرقم الهيدروجينى طبقاً لمعايير الصرف وذلك لمنع المشاكل فى نظم المعالجة. المجال المناسب هو من ٥ إلى ٩ أو من ٦ إلى ١٠. وفى بعض الحالات لايوجد تحديد للحد الأقصى للرقم الهيدروجينى ذلك لأن الرقم الهيدروجينى المرتفع لايشكل خطورة على نظم المعالجة مثل الرقم الهيدروجينى المنخفض. يعتبر الرقم الهيدروجينى هو نقطة التحكم لعملية التعادل، ولكن كمية الحموضة أو القلوية فى المحلول هى القياس الحقيقى لكمية المادة الحامضية أو القلوية التى تتطلب التعادل.

ولتحديد الحموضة أو القلوية الكلية فإنه يلزم عمل المعايرة. والمعايرة (Titration) هى إضافة عامل معايرة قياسى حتى التعادل للمحلول إلى درجة رقم هيدروجينى محددة وهذه خطوة هامة وضرورية فى تصميم نظام التعادل لتحديد قيمة عمل عناصر التحكم فى تحديد التدفق لعناصر ضبط الرقم الهيدروجينى.

منحنى المعايرة للحامض والقلوى هو عبارة عن التغير فى الرقم الـهيدروجينى مع إضافة عامل المعايرة والشكل (٧/١) يوضح هذا التغير فى الرقم الـهيدروجينى لكل وحدة إضافة من هذا العامل.

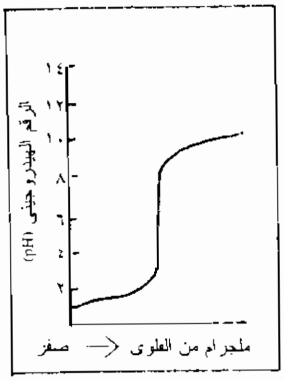
شكل منحنى المعايرة يتوقف على بعض المتغيرات مثل طبيعـة الحـامض أو القلوى وسواء كان قوى أم ضعيف وتركيز الحامض أو القلوى، وكـذلك علـى عـامل الدرئ (Buffer) الموجود وكذلك على نوع وتركـيز عنـاصر التحكـم (Control Reagents). توضح درجة التحكم المتحصل عليها بواسطة شكل المنحنى. النقطـة ذات أكبر تغير فى المنحنى تسمى نقطة التكافؤ أو الإنحناء. نقطة الإنحناء هذه رغم أنه ليس بالضرورة أن تكون عند رقم ٧ ولكنها غالبا قريبة منـها. إذا تـم خلـط حامض قوى مع قلوى قوى فإن نقطة التعادل تكون عند رقم هيدروجينى ٧. ولكـن فى حالة المعايرة لأحماض ضعيفة مع قلويات ضعيفة فإن نقطة التعادل تكون إمـا أكبر من ٧ أو أقل من ٧. ففى الشكل (٦/١) يوضح المعايرة لحامض قـوى مثـل حامض الكبريتيك أو حامض النيتريك أو الهيدروكلوريك مع قلـوى قـوى مثـل إيدروكسيد الصوديوم. وبالقرب من نقطة التكافؤ فإن الزيادة القليلـة مـن القلـوى تسبب تغير فى الرقم الهيدروجينى لعدة وحدات. ولذا فإن نظام التحكم فـى الرقـم الهيدروجينى لمعادلـة حـامض قـوى مثـل حـامض الكـبريتيك أو حـامض الهيدروكلوريك أو حامض النيتريك مع قلوى قوى مثل إيدروكسيد الصوديوم بـدون معدات مصممة خصيصاً لهذا التطبيق يوجد صعوبة فى التحكم على مستوى الرقـم الهيدروجينى النهائي. ونقطة التكافؤ لمعايرة حامض قوى مع قلوى ضعيف أقل من رقم هيدروجينى ٧ الشكل (٧/٢)، وكذلك فإن التغير فى الرقم الـهيدروجينى لكـل وحدة قلوى مضافة ليست تقريباً واضحة التأثير كما فى حالـة معـايرة حـامض قوى/قلوى قوى.



شكل (٦/١) منحنى المعايرة لحامض قوى معاير بقلوى قوى

الأحماض القوية التى تتفاعل مع قلويات ضعيفة أو القلويات القوية التى تتفاعل مع أحماض ضعيفة تنتج فى الغالب أملاح لها قوة درئ. (Buffer Action) شكل (٦/٢). تعادل الحامض القوى مع القلوى الضعيف أو العكس يحقق فى الغالب تحكم أفضل للرقم الهيدروجينى حيث يمكن فى هذه الحالة الحصول على رقم هيدروجينى ٧ والذى يصعب الحصول عليه باستخدام حامض قوى وقلوى قوى. الفائدة من استخدام النشادر لمعادلة الرقم الهيدروجينى المنخفض هو لأن النشادر قلوى ضعيف وبذا تسبب إنحناء فى منحنى المعايرة أقل حدة عند مجال الرقم الهيدروجينى المقبول، وقد يكون غير مقبول المركبات النيتروجينية التى تضيفها النشادر إلى الماء.

البرنامج الجيد لأخذ العينات وتحليلها يلزم أن يوفر معلومات دقيقة عن نوع وكمية الكيماويات اللازمة لمعادلة المحاليل ذات الرقم الهيدروجينى المرتفع أو المنخفض.



شكل (٦/٢) منحنى المعايرة لحامض قوى معاير بقلوى ضعيف

تعرف الحموضة للماء أو لمياه الصرف بالقدرة الكمية لمعادلة قلوى قوى إلى منحنى رقم هيدروجينى محدد. وقد تتغير القيمة المقاسة بوضوح مع تغير نقطة النهاية للرقم الهيدروجينى المستخدم فى تحديدها. الحموضة هى المقياس الكلى لمياه الصرف وقد تترجم إلى مواد محددة فقط فى حالة معرفة التركيب الكيماوى للعينة. الأحماض القوية والضعيفة مثل حامض الكربونيك والخليك والأملاح مثل كبريتات الحديدوز وكبريتات الألومنيوم قد تضيف إلى قياس الحموضة طبقا لطريقة القياس المستخدمة.

فى معايرة مادة حمضية واحدة فإن نقطة النهاية الدقيقة جدا بالنسبة للحموضة يمكن تحديدها عند نقطة الانحناء لمنحنى المعايرة. نقطة الانحناء هى النقطة حيث إنحناء المنحنى (التغير فى الرقم الهيدروجينى لكل ملجرام من المادة الكيماوية المضافة). يمكن تحديد النقطة عند تنفيذ طريقة عمل المنحنى، نظرا لأن التحديد الدقيق لنقطة الانحناء للمنحنى قد يكون مستحيل فى المخلوط المعقد أو المحتوى على عامل درئ (Buffer). المعايرة تتم فى هذه الحالة عادة إلى نقطة نهاية إختيارية للرقم الهيدروجينى.

إنه جرت العادة على إعتبار أن كل المياه ذات الرقم الهيدروجينى أقل من ٨,٥ تحتوى على حموضة. كما أنه عادة إعتبار نقطة النهاية للفينول فثالين (Phenol - Phthalein) عند ٨,٢ إلى ٨,٤ قياس لعدم وجود الحموضة. وعند استخدام الكاشف الميثيل البرتقالى (Methyl Orange) فإن نقطة النهاية (التعادل) للرقم الهيدروجينى فى حالة مياه الصرف المليئة بالملوثات فهى تقريبا ٤,٣.

فى مياه الصرف الغير محتوية على حموضة معدنية (Mineral Acidity) بكميات كبيرة فإن ثانى أكسيد الكربون المكون التقليدى لكل المياه الطبيعية قد يوفر قدرا كبيرا لأى معايرة للحموضة. ثانى أكسيد الكربون قد ينتج فى المياه نتيجة لأكسدة البيولوجية للمواد العضوية، وخاصة المياه الملوثة. إتزان (Equilibruim) ثانى أكسيد الكربون فى المياه الطبيعية قد يؤثر على كمية الحموضة والقلوية الموجودة عند المعايرة (Titraton). المعايرة لمحلول إلى رقم هيدروجينى ٤,٥ باستخدام الكاشف الميثيل البرتقالى المستخدم كمؤشر للأحماض المعدنية تسمى حموضة الميثيل البرتقالى. معايرة عينة إلى نقطة نهاية للرقم الهيدروجينى ٨,٣ باستخدام كاشف الفينول فثالين تقيس كلا من الأحماض المعدنية وكذلك الحموضة بسبب الأحمال الضعيفة مثل ثانى أكسيد الكربون.

قلوية المياه هى طاقتها الكمية لمعادلة حامض قوى إلى رقم هيدروجينى معين. القيمة المقاسة قد تختلف بوضوح مع استخدام كاشف نقطة النهاية لتحديد الرقم الهيدروجينى. القلوية هى قياس للصفات الكلية للماء ويمكن تعريفها بقيم مواد معينة وذلك عند معرفة التركيب الكيماوى للعينة. القلوية لكثير من مياه الصرف قد تكون أساسا الدلالة للإتزان لكل من الكربونات والبيكربونات والإيدروكسيدات فى مياه الصرف. تعتبر القلوية كمؤشر لتركيز هذه المكونات وقد تشمل كذلك إسهامات من البوريت، الفوسفيت، السيليكيت (Borates, Phosphates, Silicates) أو مجموعات آن أيونية أخرى.

عادة تحتوى مياه الصرف على قلوية أعلا قليلا من الموارد المائيـــة. لتعييـــن القلوية فإن أيونات الإيدروكسيد الموجودة فى العينة يتم معادلتها بالمعايرة بحـــامض قياسى. القلوية التى تحددت تتوقف على نقطة النهاية المستخدمة لإكمال المعـــايرة. فى مياه الصرف قد يكون السبب فى القلوية وجـــود مـــواد مثـــل الإيدروكسـيد، الكربونات، البيكربونات وبعض الكيماويات العضويـــة. عمومـــا تقـــاس القلويـــة بالمعايرة بمحلول حامض الكبريتيك ويقيم بالمكافئ من كربونات الكالسيوم. العينات ذات الرقم الهيدروجينى (الأولى) أكبر من ٨,٣ يتم عمل المعايرة لها فى خطوتين.

الخطوة الأولى تتم حتى تحول مؤشر الفينول فثالين من اللون القرمـــزى إلـــى عديم اللون وذلك عند رقم هيدروجينى ٨,٣. الخطوة الثانية للمعايرة تتم إلى رقـــم هيدروجينى ٤,٥ باستخدام الكاشف الميثيل البرتقالى (Methyl Orange).

٤- تصميم نظم التحكم فى الرقم الهيدروجينى: Design of pH Control Systems

إن نظم التحكم فى الرقم الهيدروجينى تعتبر معقدة وذلك لعدم الدلالة الطوليـــة للرقـــم الـــهيدروجينى مـــع التركـــيز (Non Linear Function of pH with Concentration). فمثلا عند إضافة كمية معينة من القلوى إلى محلـــول حـــامضى قوى ذو رقم هيدروجينى ٢ حيث يزداد الرقم الهيدروجينى إلـــى ٣. وفـــى حالـــة الرغبة فى زيادة الرقم الهيدروجينى لهذا المحلول إلى ٤ فإنه يلزم إضافـــة ١٠/١ (عشر) كمية القلوى الأصلى. وفى حالة الرغبة ليكون الرقم الهيدروجينى ٥ فإنـــه يلزم إضافة ١٠٠/١ فقط من كمية القلوى الأصلية، وفى حالة الرغبة فى الرفع إلـــى ٦ فإنه يلزم فقط ١٠٠٠/١ من الكمية الأصلية للقلوى.

لذلك فإنه من الصعب التحكم فى مجرى الصرف للتغير من رقم هيدروجينـــى ٢ إلى ٧، حيث يلزم إضافة كمية كبيرة من القلوى قبل حدوث أى تغير فى الرقـــم الهيدروجينى ولكن مع إضافة كمية صغيرة فإن الرقم الهيدروجينى يرتفع بســـرعة.

وللحصول على التحكم فى رقم هيدروجينى محدد تحت هذه الظروف فإنـــه يلـــزم توفير نظام تحكم دقيق.

كذلك فإن نظام التحكم ذا الرقم الهيدروجينى قد ينفذ إما بواسطة نظام الدفعـــة الواحدة (Batch System) أو بنظام التدفق المستمر. فمثلا سوف يؤخذ فى الاعتبـــار الحالة الغالبة فى الصناعة وهى التدفقات الحامضية.

والقياس الرئيسى لنظام التحكم فى الرقـــم الـــهيدروجينى هـــو قيـــاس الرقـــم الهيدروجينى للمحلول والتحكم فى إضافات عامل التعادل طبقا للحاجـــة للمحافظـــة على المياه الخارجية (بعد المعالجـــة) فـــى الحـــدود المعينـــة والمقبولـــة للرقـــم الهيدروجينى.

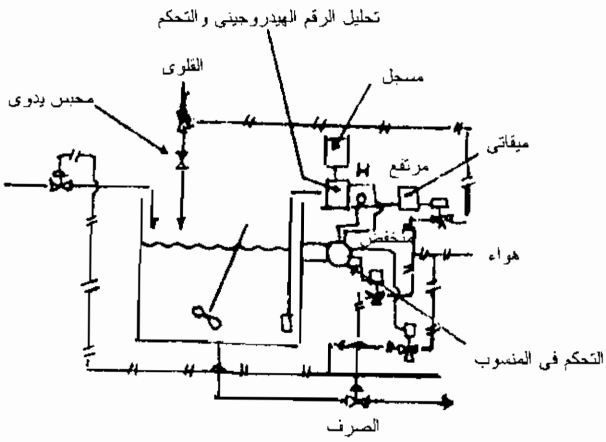
نظام التحكم فى الرقم الهيدروجينى يقوم بالمعايرة المستمرة إلا فى حـــالات أن تركيز المحلول الجارى معادلته ليس له أهمية.

توجد ثلاث أنواع من نظم التحكم فى الرقـــم الـــهيدروجينى ذات الاســـتخدام العادى:

- فى المصانع حيث معدلات التدفق وأحجام التدفق عاليـــة يســـتخدم التحكـــم بتنسيب التدفق المستمر أو بنظام التحكم متعدد الأشـــكال (Continous flow Proportional or Multimode Control System).
- وفى المصانع حيث التدفقات من الأحماض أو القلويات صغيرة قد يســـتخدم نظام التعادل بالدفعات (Batch Neutralization) أو التعادل المستمر، حيـــث يوجد وضعين للتشغيل والإيقاف (On-Offcontrol System).
- والتعادل على دفعات عادة مناسب للحالات حيث التدفق غير منتظم وكذلـــك الصرف للسوائل الحامضية أو القلويـــة قـــد يكـــون غـــير منتظـــم التدفـــق والتركيزات تكون عالية نسبيا ومتغيرة. ويحدث هذا فـــى حـــالات معالجـــة أسطح المعادن (Pickling) بالأحماض حيـــث ســـائل الصـــرف الحـــامضى

لحامض الكبريتيك أو النيتريك أو الهيدروكلوريك يوضع فى وحدة المعادلة على دفعات قبل التخلص منه.

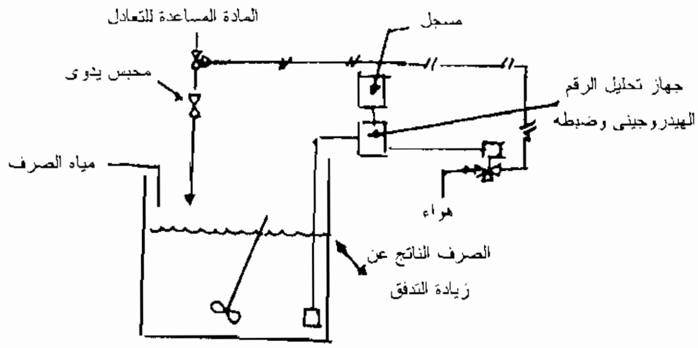
نظام التعادل على دفعات موضح فى الشكل (٦/٣) نموذج لهذا النظام فعند صرف السائل الحامضى يتم ضخه إلى حوض حيث يعادل هذه الدفعة قبل الصرف على شبكة الصرف الصحى. وكما هو واضح فى الشكل يوجد تحكم فى المنسوب (LC - Level Controller) لملئ حوض التعادل وهذا التحكم مرتبط بالتحكم فى الرقم الهيدروجينى حيث يمكن الصرف فقط عندما يكون الرقم الهيدروجينى ما بين الحدود المسموح بها. أثناء ملئ الحوض فإن أقطاب الرقم الهيدروجينى (pH Electrodes) تستشعر (Sense) أن المحلول خارج الحدود يفتح المحبس لإضافة القلوى. وعند إمتلاء الحوض فإن التحكم فى المنسوب (LC) يقوم بقفل المحبس الخاص بدخول السائل ولكن محبس القلوى يظل مفتوح حتى الوصول إلى الرقم الهيدروجينى المطلوب، عندئذ فإن محبس الصرف للحوض يفتح حيث تصرف المواد إلى شبكة الصرف، وفى هذا النظام فإن مادة التعادل تضاف خلال المحبس اللولبى (Selenoid Valve)، أو محبس هواء (Air Actuated Valve). يتم الخلط فى الحوض عادة باستخدام خلاط مروحة (Propeller Mixer) أو إضافة الهواء الذى يسبب الخلط فى الحوض وتوزيع المادة القلوية. ونظرا للطبيعة اللوغاريتمية للرقم الهيدروجينى فإنه يحدث تغير كبير فى الرقم الهيدروجينى عند إضافة قليل من القلوى وذلك عند اقتراب المحلول من التعادل وهذا التغير قد يقفز بعيدا بالرقم الهيدروجينى عن الحدود عند إجراء التعادل. عند وصول الرقم الهيدروجينى إلى الحد المطلوب فإنه ينصح بوجود تحكم ميقاتى (Timer) فى الدائرة ليسمح بعدم دخول القلوى لمدة دقيقة واحدة. وقت الإيقاف هذا يسمح باستمرار التفاعل الكيماوى وكذلك يسمح لعنصر الاستشعار (Sensor) بتحديد الرقم الهيدروجينى الحقيقى للمحلول.



شكل (٦/٣) نظام التعامل على دفعات الآلى كلية (لتعادل مياه حامضية مع مياه قلوية H، D للتحذير من الإرتفاع والإنخفاض حيث يتم تبديلها عند استخدام مادة الحامض بدلا من المياه الحامضية

نظام الوضعين تشغيل – إيقاف شكل (٦/٤) سمى كذلك لأن عنصر التحكم فى إضافة العامل المساعد (Reagent) دائما يكون إما تام الغلق أو تـام الفتـح. وهـذا النظام عادة يستخدم فى حالات حيث معدل التدفق لمياه الصـرف صغـيرة نسـبيا وزمن السكون لنظام التحكم كبير نسبيا، وزمن المكث فى حوض التفاعل يلـزم أن يكون أقل ما يمكن حوالى ١٠ دقيقة أو أكثر. الخلط والتقليب الجيد يساعد أقطـاب الرقم الهيدروجينى على الكشف الحقيقى له بما يمنع صرف مياه الصـرف خـارج حدود الرقم الهيدروجينى. زمن التقليب يلزم أن يكون أقل مـن ٢٠% مـن زمـن الإيقاف فمثلا إذا كان زمن الإيقاف ١٠ دقائق فإن زمن التقليب أو الخلط يجـب أن يكون أقل من ٢ دقيقة. إذا كان التدفق للحموضة الكلية أو القلويـة الكليـة لميـاه الصرف متغيرا بما يعادل حوالى ١٠٠٠ (كمـا فـى حالـة التغـير فـى الرقـم الهيدروجينى ٤ درجات مع ثبات التدفق أو التغير فى الرقم الهيدروجينى ثلاث مـع التغير فى مجال التدفق ١٠ أضعاف) عندئذ يمكن استخدام محبسين لإضافة العـامل المساعد (قلوى أو حامضى)، حيث يستخدم المحبس الكبير لإضافة الحجـم الكبـير

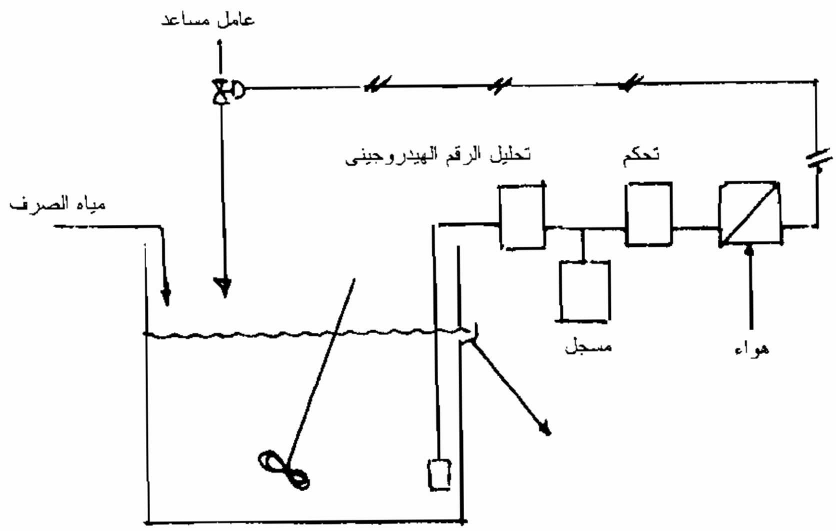
من العامل المساعد والمحبس الصغير لإضافة الكميات الصغيرة جدا. عندما يكون حجم التدفق من مياه الصرف الحامضية أو القلوية عاليا نسبيا فإنه يصبح غير عملى توفير زمن توقف كبير اللازم لنظام الفتح والقفل.



شكل (٦/٤) نظام القفل – الفتح المبسط

والنظم العملية فى هذه الحالة هى النظم متعددة التحكم (Muti Mode Control)، شكل (٦/٥) حيث يسمح بالتدفق المستمر لمادة تعادل الرقم الهيدروجينى. فى هذه الحالة فإن مادة التعادل يتم إضافتها باستمرار من خلال عناصر التحكم فى الرقم الهيدروجينى. تتوقف كمية عنصر التعادل المضافة على الرقم الهيدروجينى المحدد فى نظام التحكم. توجد إعتبارات كثيرة عند تصميم هذا النظام، قدرة النظام وطاقته على إدمصاص مادة التعادل بدون التغير فى العملية. وعموما الطاقة الكبيرة مفضلة لحسن التحكم وذلك يلغى التغيرات المفاجئة، يعطى وقت للخلط بما يقلل من التغير الحاد فى وضع عناصر التحكم النهائية. لسوء الحظ فإن نظم معادلة الرقم الهيدروجينى هى نادرا نظم ذات طاقة كبيرة. نظرا لأن دلالة الرقم الهيدروجينى هى دلالة لوغاريتمية للتركيز، فإنه من المرغوب فيه أحيانا إستخدام النشادر، كربونات الكالسيوم أو قلوى ضعيف كمادة تعادل للأحماض المعدنية. هذه المواد القلوية تعطى قدرا ما للدرئ (Buffering) بما يقلل من التغير الحاد فى الرقم

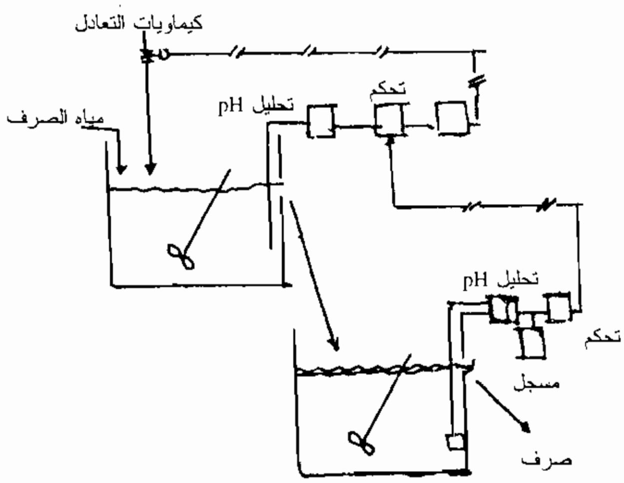
الهيدروجينى. فى النظام يلزم إيجاد زمن للمكث (Detention Time) وذلك ليمكن أن يستمر تفاعل التعادل إلى الاستكمال حيث أن المواد الصلبة يجب أن تذوب حتى يمكنها أن تتفاعل مما يتطلب توفير الوقت الكافى وخاصة فى حالات إستخدام المواد الصلبة أو المضاف إليها قليل من الماء (Slurry) كمادة تعادل. يلزم كذلك الخلط لمنع التأخير فى الوصول إلى الرقم الهيدروجينى المطلوب. الوقت الميت فى حوض التفاعل يوجد عدم تمام التعادل نظرا للحاجة إلى مادة التعادل.



شكل (٦/٥) نظام التحكم المتغير البسيط

يمكن التحكم الجيد فى الرقم الهيدروجينى أحيانا بنظام التحكم بالشلالات (Cascade Control System) شكل (٦/٦). المرحلة الأولى من الشلال تشمل أكبر فترة مكث والخلط ويتم فيها الضبط الكبير للرقم الهيدروجينى. فى المرحلة الثانية يلزم الخلط ولكن ليس بالدرجة المطلوبة فى المرحلة الأولى. فى المرحلة الثانية يمكن تحقيق ضبط بسيط للرقم الهيدروجينى وذلك بإضافات محددة من عامل التعادل. حوض التفاعل يكون تقريبا فى شكل مكعب، مع الحجم الذى يتناسب مع

معدل التفاعل وعوامل أخرى. المدخل والمخرج يتم وضعهما فى إتجاهين متعاكسين. الإضافة العادية لمياه الصرف تتم على السطح من أعلا كما يمكن إضافة مادة التعادل فى نفس المكان وقد تضاف مع مياه الصرف قبل وصول التدفقات إلى حوض التفاعل. يلزم توفير الخلاط اللازم لعمل الخلط الجيد مع إستعمال الحوائط المانعة (Baffles) فى الحوض لمنع حدوث الدوامات. وقد يستخدم حقن الهواء فى عملية الخلط. يلزم أن يكون الخلط عنيفا بما فيه الكفاية وبما يوفر وقت ميت (Dead Time) لا يزيد عن ١/٢٠ من زمن المكث فى الحوض. الوقت الميت هو الفترة الزمنية مابين إضافة مادة التعادل وأول إكتشاف للتغير فى الرقم الهيدروجينى للمياه الخارجة. زمن المكث فى حالة استخدام عامل التعادل السائل ٣ دقائق يكون مناسبا، وفى حالة استخدام مادة صلبة فإن زمن المكث لايقل عن ٥ - ١٠ دقائق وفى حالة استخدام الجير يزاد إلى ٣٠ دقيقة.

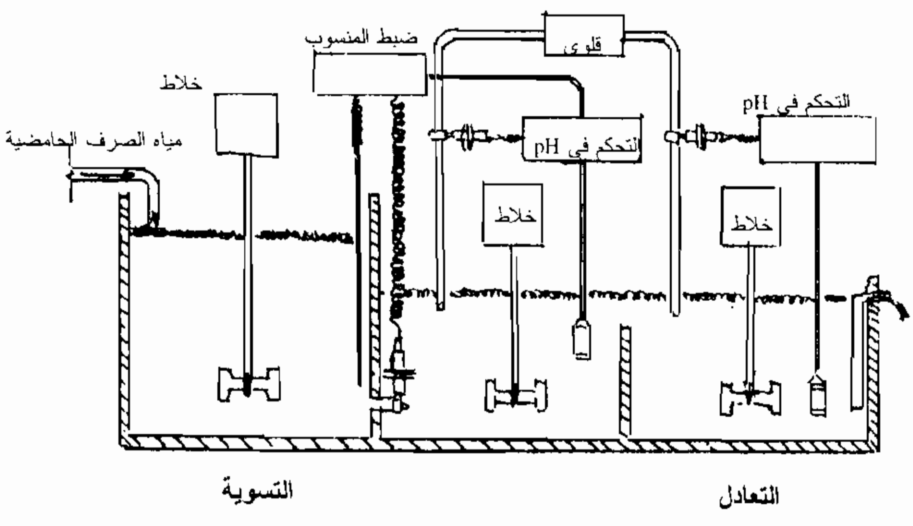


شكل (٦/٦) نظام التحكم المتغير البسيط

تتوقف دقة ضبط الرقم الهيدروجينى النهائى على المدى اللازم للضبط. فإذا كانت المياه الداخلة ذات رقم هيدروجينى ١ والمطلوب وصولها إلى ٧ عندئذ يلزم

أن تكون دقة نظام التحكم لدرجة واحد جزء فى المليون. وإذا كان هناك كذلك تغير كبير فى معدلات التدفق فإن نظام التحكم يلزم أن يكون بدقة ليست فقط واحد جـــزء فى المليون ولكن ربما يكون واحد جزء كل مائة مليون. هذه الدقة لايمكن تحقيقـــها باستخدام محبس تحكم واحد أو عنصر تحكم واحـــد وعـــادة الدقـــة ١-٢% هـــى الواقعية.

الحل لمثل هذه الحالات هو باستخدام أكثر من نظام للتحكم مثل النظام متعـــدد العناصر شكل (٦/٧) لضبط الرقم الهيدروجينى المتباعد، يستخدم ثلاث نظم فرعية على التوالى فمثلا يمكن رفع الرقم الهيدروجينى من ١ إلى ٣ وهذا يتطلـــب دقـــة حوالى ١ على ١٠٠ وفى النظام التالى لرفع الرقم الهيدروجينى من ٣ إلى ٥ وفـــى الثالث يمكن رفع الرقم الهيدروجينى من ٥ إلى ٧.



شكل (٦/٧) مخطط لنظام التعادل للحامض ذو المرحلتين مع التسوية

٥- التطبيقات الصناعية:

عمليات المعالجة لمياه الصرف الحامضية:

الطريقة الأكثر قبولا لمعادلة مياه الصرف الحامضية هى:

- الخلط مع لبن الجير (Lime Slurry) لمياه الصرف الحامضية بما يحقق نتيجة نهائية قريبة من نقطة التعادل.
- إضافة النسب الضرورية من الصودا الكاوية لمياه الصرف.
- إضافة كربونات الصوديوم (الصودا آش) للضبط للرقم الهيدروجينى المطلوب.
- تمرير المياه الحامضية خلال طبقات من الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم).
- إضافة النشادر.

التقييم الاقتصادى لعملية معادلة المياه الحامضية تتطلب دراسة مواد التعادل المختلفة بعمليات تجريبية، تشمل التكاليف لكل من هذه الكيماويات عند الجرعات المطلوبة لكل وحدة حامض وكذا الروبة المتكونة من عدمه (Sludge).

المستخدم عادة هو الجير فى أشكاله المختلفة لمعادلة مياه الصرف الحامضية:

مميزات الجير وفرته وقلة تكلفته وعيوبه الرئيسية هى أن بعض أملاح الكالسيوم الناتجة عن عملية التعادل لاتذوب والحمأة الناتجة قد تتطلب الإزالة فى مروق أو فى حوض ترسيب. هذه المواد الصلبة غير المذابة قد تسبب مشاكل فى الصيانة نتيجة الترسيبات على أقطاب القياس للرقم الهيدروجينى وكذلك على المحابس والمواسير والطلمبات. فى حالة وجود معادن ثقيلة والتى يلزم إزالتها من

مياه الصرف فإن عملية التعادل تتم فى مجال رقم هيدروجينى أعلا من ٧. أما عمليات التعادل فى مجال رقم هيدروجينى أقل من ٥ فإنه نادرا ما تسبب مشاكل نتيجة الترسيبات. عند رقم هيدروجينى ما بين ٥ – ٩ فإن الترسيبات الناتجة قد تكون إما حبيبية أو قشرية (Scales) وذلك حسب مادة الجير المستخدم (Lime) وإعادة تدوير الرواسب (الحمأة) وعوامل أخرى. فى حالة التعادل فى مجال رقم هيدروجينى من ٩ – ١١ فإنه يسبب رواسب شديدة الالتصاق بزيادة مفاجئة.

توجد أنواع مختلفة من أملاح الجير التى استخدمت فى معادلة مياه الصرف الحامضية. وهذه تشمل الجير المطفى عالى الكالسيوم، أكسيد الكالسيوم (الجير الحى)، الجير الدولوميتى، الدولوميت المطفى، والحجر الجيرى عالى الكالسيوم، وصرف إيدروكسيد الكالسيوم (من إنتاج كربيد الكالسيوم). وأى من هذه المواد له قواعد أساسية مختلفة والتى هى أساسا المكافئ الكمى للمادة المعادلة الحامض. الأشكال المختلفة لأملاح الجير لها كذلك فترات زمنية مختلفة للتفاعل والتى تؤثر على حجم التعادل والتكاليف الكلية. وهناك بعض خامات الجير المحتوية على مواد خاملة والتى تضيف إلى كمية الرواسب (الحمأة).

الشكل الآخر للتعادل هو باستخدام الصودا الكاوية أو الصودا آش:

الصودا الكاوية مادة كيميائية عالية التفاعل وتتطلب الحرص الشديد فى تداولها وحفظها. أبخرة الصودا الكاوية قد تكون خطرة على الجلد. نظام الصودا الكاوية بسيط جدا وغير مكلف نسبيا بما يقلل من التكاليف الرأسمالية هذا بالإضافة إلى طبيعتها النشطة بما يجعل الصودا الكاوية مفضلة إقتصاديا. أملاح الصوديوم الناتجة عن استخدام الصودا الكاوية عالية الإذابة دون الحاجة لإزالتها. التركيزات العالية من الصودا الكاوية يلزم تخفيفها إلى ٢٠% حتى لاتتجمد وإن كانت قوانين الصرف على شبكات الصرف تحد من التركيزات العالية لهذه الأملاح المذابة.

الصودا آش (خام كربونات الصوديوم) رغم أنها أكثر فـــى الاســـتخدام فـــإن تكلفتها تفـــوق الصودا الكاوية وذلك نظرا لقلة قدرتها على التعـــادل. نظـــرا لقلـــة ذوبات الصودا آش فى الماء فإنه يتم التغذية بها فى شكل مخلوط مع الماء (روبـــة Slurry) تماما مثل الجير المطفى.

الحجر الجيرى:

رغم أن الحجر الجيرى هو الأقل سعرا بين كل مواد التعادل فإن له ســـلبياته. فعند إستخدامه فى طبقات والتى يتم خلالها تمرير مياه الصرف الحامضيـــة فإنـــها تتفاعل منتجة ثانى أكسيد الكربون والذى يعمل على التحام هذه الطبقـــات. طبقـــة كبريتات الكالسيوم المتكونة من تعادل حامض الكبريتيك يلـــزم إزالتـــها بـــالتقليب الميكانيكى. زمن التفاعل قد يكون ساعة أو أكثر طبقـــا لنوعيـــة وحجـــم الحجـــر الجيرى، كذلك فإن الوصول إلى رقم هيدروجينى محدد بعد التعادل لايمكـــن تحقيقـــه. وقد استخدم الحجر الجيرى فى الأسطوانات الدوارة الأفقية ولكن أساســـا كعمليـــة معالجة مسبقة.

التعادل باستخدام النشادر:

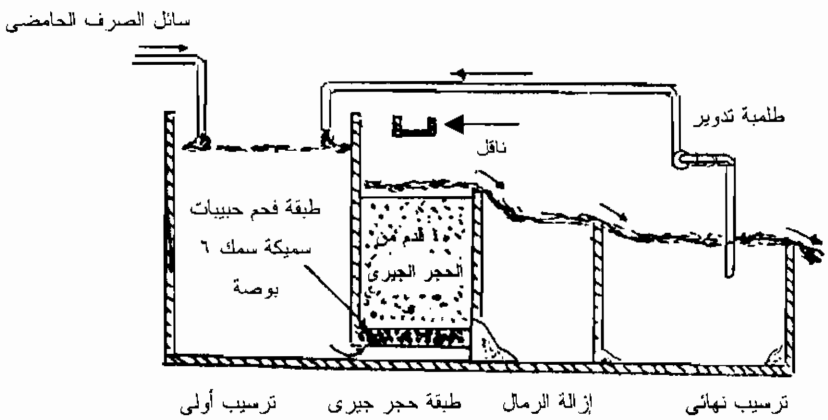
التعادل باستخدام النشادر مغرى نظرا لأن النشادر عاليـــة النشـــاط ومنتجـــة لأملاح عالية الذوبان ولها قلوية عالية ويســـهل تداولـــها. ولكـــن حـــدود معـــايير النيتروجين قد يحد من إستخدامها أو قد تستخدم فى حالة المعالجـــة التاليـــة لميـــاه الصرف بيولوجيا حيث تتطلب كمية إضافية من النيتروجين كغذاء. ولكن تدفقـــات المياه فى المجارى السطحية تتطلب أدنى حد من النشادر بما يحد من استخدامها فى حالة الصرف على المجارى المائية.

طرق التحكم: (Control of Methods)

الشكل (٧/٥) يوضح المخطط النشيط للتحكم اليدوى لنظام التعـــادل للصـــرف الحامضى ذو المرحلة الواحدة عدا طريقة طبقة الحجر الجيرى. تســـتخدم طريقـــة المرحلة الواحدة للتعادل فى عمليات المعالجة للدفعة الواحدة (Batch) فى المصـــانع حيث معدل التدفق منخفض. نظام التحكم الآلى فى حالة التدفقات المستمرة باستخدام مشعر الرقم الهيدروجينى (pH. Sensor) للتحكم فى التغذية قد يشكل صعوبـــة فـــى التحكم شكل (٧/٦).

أحدث مخطط للتعادل هو نظام المرحلتين (2 Stages) شكل (٧/٧). هذا النظام يوفر الخلط لمختلف تدفقات مياه الصرف الحامضية فى حوض التعادل. حيث تتـــم التغذية فى مرحلة التعادل الأولى بمعدل منتظم حتى يتم الوصول بالتغذيـــة بعـــامل التعادل بكمية كبيرة التى توفر تغير عادى فى الرقم الهيدروجينى. فـــى المرحلـــة الثانية يتم ضبط الرقم الهيدروجينى بإضافة قليلة من عامل التعادل (عادة القلـــوى) والتى تحدث تغير كبير فى الرقم الهيدروجينى. فى مياه الصرف غـــير المحتويـــة على مواد الدرئ (Un Buffered) فإن الرقم الهيدروجينى قد يقفز إلى ٩ أو أكـــثر. وكذلك النقص القليل فى الكيماويات (القلوى) ينتج عنه نقص فى أعداد مـــن الرقـــم الهيدروجينى. والاستجابة الآلية للحاجة لرفع الرقم الهيدروجينى ثانيا ينتـــج عنـــها قفزة فى الرقم الهيدروجينى. وهذه الخاصية بين الارتفاع والإنخفـــاض هـــو مـــن صفات مياه الصرف الغير محتوية على عوامل درئ. هذا التذبـــذب فـــى الرقـــم الهيدروجينى ينتج عنه استخدام اكبر من الكيماويات عما تم فى الدراسة التجريبيـــة، بالإضافة إلى أن محاولة الضبط هذه تشكل تحميل زائد وتقليل كفاءة معدات التحكـــم الآلى.

الشكل (٦/٨) مخطط مبسط لوحدة تعادل بالحجر الجيرى ذات التدفق العلوى. سمك طبقة الحجر الجيرى حوالى ١ متر (٣-٤ قدم) ومصممة لمعدل تدفق ٠,٩ لتر / الثانية (١,٤ جالون فى الدقيقة / القدم المربع). التصميمات الحديثة يكون فيها سمك الطبقة من ١,٥ - ٢,٤ متر. نظام الحجر الجيرى يصاحبه كثير من المشاكل والتى تشمل إعاقة فى الطبقة وكذلك وجود قنوات تدفق عبر الطبقة (Clogging Or Channeling of the Bed) ومشاكل ميكانيكية. تسوية التدفقات قبل التعادل تساعد فى زيادة الكفاءة حيث تسمح بزيادة معدل التدفق (١٤-٢٠ لتر فى الثانية / المتر المربع). وهذا النظام يتطلب استخدام حجر جيرى صغير الحجم بما يقلل من حدوث قنوات وبما يحقق زيادة السطح المعرض بما يزيد من كفاءة عملية التعادل. وزيادة معدل التدفق تقلل من احتمالات الإعاقة (Clogging).



شكل (٦/٨) مخطط مبسط لنظام التعادل بالحجر الجيرى

عمليات المعالجة لمياه الصرف القلوية:

أكثر الطرق قبولا لمعادلة مياه الصرف القلوية هى:

- دفع دخان عادم الحريق (Flue Gas) خلال مياه الصرف.
- إضافة ثانى أكسيد الكربون المضغوط إلى مياه الصرف.
- إنتاج ثانى أكسيد الكربون فى مياه الصرف القلوية.
- إضافة حامض إلى مياه الصرف.

طريقة دفع دخان عادم الحريق إلى مياه الصرف رغم أنها جديدة إلا انها إقتصادية. دخان عادم الحريق يحتوى على حوالى ١٤,٥% ثانى أكسيد الكربون والذى عند ذوبانه فى مياه الصرف ينتج حامض الكربونيك الضعيف (H_2CO_3)، وهذا الحامض يتفاعل مع مياه الصرف القلوية إلى الرقم الهيدروجينى المطلوب.

كقاعدة استخدام غاز ثانى أكسيد الكربون المضغوط مناسب فقط فى المصانع الصغيرة ذلك رغم أنه استخدام كثيرا فى معالجة مياه الصرف من مصانع البيرة. إنتاج ثانى أكسيد الكربون أقل تكلفة من شراء الغاز المعبأ فى زجاجات. التعادل بالغاز المضغوط يعمل بنفس المبدأ كما فى حالة دفع دخان عادم الحريق. إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون فى مياه الصرف باستخدام الحريق المغمور (Submerged Combustion) والذى هو عبارة عن حرق الغازات القابلة للإحتراق أسفل مياه الصرف. المعالجة بالحامض لمياه الصرف القلوية الاستخدام الأكثر فيها يكون باستخدام الأحماض المعدنية أو مياه الصرف الحامضية. وقد استخدم حامض الكربونيك على نطاق واسع ونتيجة التفاعل هى الماء والملح. يتكون ملح شديد الذوبات فى حالة كون القلوى من أملاح الصوديوم. حامض الكربونيك إقتصادى عند شرائه بكميات كبيرة ونظرا لقوة حموضته فإنه يلزم الحرص فى التداول والتخزين والاستعمال نظرا لعدوانيته. يمكن استخدام أحماض أخرى مثل حامض

النيتريك أو الهيدروكلوريك لإنتاج أملاح مذابة وماء ولكن حامض الكبريتيك أقل فى التكلفة. قد تستخدم مياه الصرف الحامضية ولكن مع الحذر نظرا لاحتمال إحتوائها على معادن ثقيلة سامة كما فى حالة مياه الصرف الحامضية الناتجة عن عملية معالجة الأسطح المعدنية بالأحماض أو سوائل ترسيب المعادن (Pickling Liquor, Plating Waters).

المعالجة المشتركة لمياه الصرف الحامضية والقلوية:

يمكن خلط مياه الصرف الحامضية والقلوية فى المصنع الواحد أو ما بين مصانع متجاورة. عند إنتاج أحد المصانع لكل من المياه الحامضية والقلوية فإن الخلط المناسب فى توقيتات متقاربة يمكن أن يحقق التعادل المطلوب. وقد يحتاج الأمر إلى أحواض تخزين مستقلة لكل من مياه الصرف الحامضية والقلوية وذلك لتوفير الخلط المناسب ولتجنب التدفقات العالية أو البطيئة لمياه الصرف الحامضية أو القلوية. وكذلك يلزم عمل الاجراءات لتدفقات مياه الصرف الضعيفة والتى لاتستطيع تحقيق التعادل لمياه الصرف القلوية.

الإعتبارات اللازمة فى عمليات التعادل:

يلزم أن تعطى أهمية خاصة لاستعادة المواد ذات الفائدة فى عمليات المعالجة المسبقة. تتوقف قيمة الاستفادة على حجم المشروع واحتياجات السوق وفرص إعادة الاستخدام داخل المصنع للمواد التى يتم إستعادتها. وهناك إعتبارات أخرى تشمل:

- الحذر من تلف الإنشاءات الخاصة بالتجميع والمعالجة.
- مراعاة الجانب الإقتصادى بالنسبة لتوفير الجرعة الكيميائية المناسبة، حيث يلزم عمل منحنى المعايرة بإنتظام لتحديد الجرعة الكيميائية الاقتصادية.
- يلزم عمل دراسات تجريبية أو إختبارات القنينة مع عمل منحنى المعايرة.

- التقليل من الكيماويات المستخدمة، حيث تجرى عملية التعادل إلى أدناها وذلك بالمحافظة على الرقم الهيدروجينى أعلى أو أقل من الرقم الهيدروجينى المطلوب.
- المعالجة المشتركة لمياه الصرف الصناعى وذلك عندما تكون مياه صرف المصنع حامضية أو قلوية فقط فإنه يلزم البحث فى المصانع المجاورة عن وجود مياه صرف صناعى تصلح لعملية التعادل.
- التسوية للحصول على الحجم المناسب ولمنع التغيرات الحادة فى التدفقات أو التركيز.
- **نواتج التعادل:** حيث يلزم عند إختيار عمليات التعادل مراعاة الآتى:
  - إزالة الأملاح الغير مذابة.
  - الأملاح المذابة قد تزيد عن المعايير المقررة للصرف.
  - وصول شبكات الصرف إلى معايير تزيد عن المعدلات المقررة لبعض المواد مثل المواد السامة، النيتروجين، الفوسفور.
  - يلزم توفير وإضافة عوامل درئ (Buffering) لزيادة القدرة على التحكم مع إحتمال تحقيق تشغيل إقتصادى.
  - إعتبارات أخرى:

إعتبارات أخرى:

- لأغراض المعالجة البيولوجية يلزم المحافظة على الرقم الهيدروجينى ما بين ٦,٥ – ٨,٥ وذلك للحصول على كفاءة عالية للنشاط البيولوجى. العملية البيولوجية نفسها توفر تعادل وقدرة درئ نتيجة إنتاج ثانى أكسيد الكربون الذى يتفاعل مع المواد الحامضية والقلوية.

- فى حالة معالجة مياه الصرف الحامضية باستخدام طبقات الحجر الجيرى يمكن أن يكون التدفق علوى أو سفلى وأقصى معدل تدفق سفلى هـو ٤٠ لـتر/ق/م^{٢} وذلك لتوفير زمن مكث كافى. فى حالة أن يكون الحامض المتاح هو حـامض الكبريتيك فإنه يجب ألا يزيد تركيزه عـن ٠,٦% وذلـك لخفـض التغطيـة السطحية للحجر الجيرى بطبقة من كبريتـات الكالسـيوم الخاملـة ولتجنـب الإنبعاثات الزائدة من ثانى أكسيد الكربون والذى يقيد إتمام عملية التعادل. وفى حالة استخدام الجير المطفى (Lime Slaking) فـإن معـدل التفـاعل يـزداد بالحرارة وبالتقليب وتفاعل الجير يتم فى عشرة دقائق ولذلك فإن تخزين لبـن الجير (Lime Slurry) قبل التعادل يمكن أن يحقق إفـادة وذلـك بتركـيز ٨-١٥%.

- إن ضبط الرقم الهيدروجينى يعتبر عـامل هـام فـى العمليـات الكيميائيـة والبيولوجية. فمثلا نجد أن سمية السيانيد للأسماك تزداد مع إنخفـاض الرقـم الهيدروجينى، وكذلك تزداد سمية النشادرعشرة أضعاف عند رقم هيدروجينـى ٨ عنه عند رقم هيدروجينى ٧. كذلك فإن إذابة المركبات المعدنية المرسبة فى قاع الحوض أو العالقة تتأثر بالرقم الهيدروجينى. كذلك فإن التعادل هام لحماية شبكات المواسير من التآكل والتلف.

الرقم الهيدروجينى المناسب لاستخدامات المياه هو:

مصادر المياه السطحية للاستخدام المنزلى	٥ – ٩.
المياه العزبة لحياة الكائنات الحية	٦,٥ – ٩.
المياه المالحة لحياة الكائنات الحية	٦,٥ – ٨،٥.

الفصل السابع

إزالة المعادن الثقيلة
(Heavy Metals Removal)

١- مقدمة:

المعادن الثقيلة موجودة بكثرة فى الطبيعة وتدخل المياه خلال دورات العمليات الجيولوجية الكيميائية. كذلك يضاف كثير من المعادن إلى الماء بفعل الأنشطة المختلفة مثل العمليات الصناعية، الإنشائية، الزراعية، النقل. التركيزات العالية والغير طبيعية من مركبات المعادن المذابة قد تكون ضارة بالصحة والاستعمالات المختلفة للمياه، وبتحديد أكثر فإن التركيزات العالية من المعادن الثقيلة فى المصادر المائية تشكل خطورة على حياه الكائنات الحية وعلى ملاءمة استخدام المياه للأغراض المختلفة وعلى كفاءة شبكات المياه ومياه الصرف وكذلك على حماية البيئة.

بيان بالمعادن الثقيلة ورموزها فى الجدول الآتى رقم (١)

المعدن	الرمز	المعدن	الرمز
ألومنيوم	AL	حديد	Fe
أنتيمون	Sb	رصاص	Pb
زرنيخ	As	مغنسيوم	Mg
باريوم	Ba	منجنيز	Mn
بريليوم	Be	نيكل	Ni
بورون	B	سيلينيوم	Si

المعدن	الرمز	المعدن	الرمز
كادميوم	Cd	فضة	Ag
كروم	Cr	قصدير	Sn
كوبالت	Co	تيتانيوم	Ti
نحاس	Cu	زنك	Zn
ذهب	Au		

الجدول رقم (٢) يوضح الصناعات التي يحتمل أن تكون مياه صرفها محتوية على هذه المعادن.

بعض المعادن غير ضار فى حالة وجودها بتركيزات منخفضة، وفى الواقع فإن الكميات القليلة جداً أساسية فى الغذاء (مثل الكوبالت، النحاس، والحديد، السيلينيوم، الزنك). بعض المعادن يمكن ان تكون سامة ولكن السمية يمكن أن تصنف إلى سمية حادة وسمية مزمنة، مساعدة على السمية، محدثة لتغير وراثى ومسببة للتشوهات الخلقية.

السمية الحادة تظهر بسرعة مع الهضم أو للالتصاق مركب المعدن بجرعات معينة. النحاس المذاب يسبب أمراض معدية وغثيان. التأثيرات الناتجة عن الكروم تشمل أورام خبيثة فى الرئة وحساسية الجلد وأمراض الكلى. أما السيلينيوم فى التركيزات العالية فإنه سام ومسرطن ويسبب تآكل وتلف الأسنان. التأثير المزمن يكون ناتج عن الهضم أو التلامس لفترة زمنية. بعض المعادن مثل الكادميوم والرصاص تتراكم فى أنسجة الجسم ولا يتم إفرازها ولذلك فإن النتيجة تكون هى التسمم المزمن. بعض المعادن تكون أكثر سميه عند إتحادها مع بعض المعادن الأخرى أو فى ظروف بيئية معينة وهذا التأثير يوصف بالمساعدة على السمية (Synergistic). فمثلاً تزداد سمية الكادميوم لوجود النحاس والزنك. سمية النحاس والزنك تزيد أو تقل طبقاً للظروف المائية مثل الرقم الهيدروجينى، درجة الحرارة،

العسر، العكارة، والمحتوى من ثانى أكسيد الكربون. بالنسبة للأحياء المائية تـــزداد سمية الرصاص فى عدم وجود الأكسجين المذاب. السمية التى ينتج عنـــــها تغـــير وراثى أو تشوهات خلقية تكون نتيجة إتحاد بعض المعادن مع المركبات العضويـــة وهذه المواد يمكن أن تحدث تغير فى الجينات الوراثية أو تحدث تشوهات خلقيــــة. وقد لوحظ التأثير السام للمعادن الثقيلة فى حالة وجـــود جرعـــات معينـــة. وجـــود المعادن الثقيلة فى المياه قد يجعلها غير مناسبة لبعض الاستخدامات. عنـــد إختيـــار مصدر مياه الشرب فإن الاعتبارات الأساسية يجـــب أن تراعـــى المـــذاق، اللطـــع (Staining) والتآكل. نفس التأثير بالنسبة للحديد عند تركيز أكثر من ٠,٩ ملجرام/لتر والمنجنيز لأكثر من ٠,٠٥ ملجرام/لتر والزنك لأكثر من ٥ ملجرام/لتر. كلا مـــن الحديد والمنجنيز قد يسبب لطع وتغير فى لون الملابس وكذلك إعاقة حركة الميـــاه فى المواسير بواسطة تأثير البكتريا على الحديد أو تسبب قشور وترسيبات كما فـــى حالة تأثير البكتريا على المنجنيز. وكذلك تتدخل المعادن فى العمليـــات الصناعيـــة فمثلا النحاس قد يسبب تفاعلات للنحاس ضارة فى الصناعات الغذائية وقد يســـبب ثقوب فى الألومنيوم وفى الصلب المجلفن فى هذه الحالات فإنه يلزم عمل المعالجـــة المسبقة للمياه قبل الاستخدام. بعض المعادن فى حالة وجودها فى مياه الرى يمكـــن أن تتلف المحصول، وهذا التلف يتمثل فى إعاقة النمو للنبات، مـــوت النبـــات، أو تراكم المعادن بما يجعل الجزء المستخدم من النبات غير صالح كغذاء.

نظراً للتأثير الضار للمعادن الثقيلة على الموارد المائية فـــإن هنـــاك معـــايير لتركيزها فى مياه الصرف الصناعى عند صرفها على المجـــارى المائيـــة أو فـــى شبكات الصرف الصحى وذلك نظراً لخطورة هذه المعادن على عمليـــة المعالجـــة البيولوجية لمياه الصرف الصحى. وهذا يتطلب المعالجة المسبقة لميـــاه الصـــرف الصناعى لإزالة المعادن الثقيلة.

٢- أثر المعادن الثقيلة على نظم المعالجة البيولوجية:

الأثر الرئيسى للمعادن الثقيلة على عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحى هو خفض كفاءة العملية البيولوجية نتيجة زيادة التركيز للمعادن الثقيلة السامة وخاصة فى حالة وجودها فى الشكل المذاب. ولكن تأثير هذه المعادن المذابة يمكن أن يقل مع إستمرار وجودها فى النظم البيولوجية حيث يمكن أن تتأقلم مع كل ما هو معوق أو سام. وعلى الجانب الآخر فإن التأثير الضار لهذه المعادن السامة قد تزداد خطورته عند حدوث تغير فى الرقم الهيدروجينى فى حوض المعالجة البيولوجية. وذلك فى حالة أن يسبب التغير فى الرقم الهيدروجينى تغير فى تركيز المعادن السامة المذابة وفى الكميات التى تمتز (Adsorbed) كيميائيا أو طبيعياً فى الكائنات الدقيقة. ذلك أن التغير فى الرقم الهيدروجينى من ٨ إلى ٧ متر يزيد من إذابة المعادن السامة فى حالة وجودها كإيدروكسيدات أو أكاسيد مذابة أو إذا إمتزت على سطح الأجسام الصلبة.

ومهما كان السبب الحقيقى لتأثير المعادن الثقيلة فقد ثبت أن وجودها بتركيزات كافية فى المياه الداخلة للمعالجة البيولوجية يقلل من كفاءة التشغيل ويعمل على تراكم هذه المواد السامة فى وحدة المعالجة البيولوجية. نظراً لأن المواد القابلة للتحلل البيولوجى تتحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء فى النظام الهوائى، وتتحول إلى غاز الميثان وكبريتيد الهيدروجين والنشادر فى النظام اللاهوائى فإن المواد المعدنية الثقيلة لاتزال ولكن تزداد تركيزاً. ولذا فإن التركيزات المنخفضة فى المياه قبل المعالجة البيولوجية قد يزداد إلى ٢٠-٣٠ ضعف فى المواد الصلبة (الحمأة) المنتجة. التأثير الإضافى لتراكم المعادن الثقيلة فى المواد الصلبة المنتجة هو فى حالة نشرها على الأرض. لذلك فإنه فى حالة وجود المعادن الثقيلة السامة بمستويات مرتفعة فإنه يلزم الحرص فى نشرها فى الأراضى الزراعية حيث أن ذلك يقلل من الكفاءة الإنتاجية للتربة وكذلك تصبح الحاصلات الزراعية المنتجة غير صالحة.

التطبيقات الصناعية:

الجدول الآتى رقم (٢) يوضح كثيراً من الصناعات وبعض المعادن التى توجد عادة فى مياه الصرف الصناعى لهذه الصناعات.

المعادن الثقيلة فى مياه الصرف / الصناعة	زرنيخ	باريوم	بورون	كادميوم	كروم	كوبالت	نحاس	حديد	رصاص	منجنيز	زئبق	نيكل	سيلينيوم	فضة	زنك
الصناعات الميتاليرجية	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
صهر المعادن الغير حديدية	×			×	×		×		×			×	×		×
إستخلاص المعادن	×			×			×	×	×	×		×		×	×
تصنيع الأسلاك بالسحب			×				×	×							
ترسيب المعادن			×	×	×	×	×	×	×	×		×		×	×
صناعة السبائك	×			×		×	×			×	×	×		×	×
أفران الصهر		×					×	×		×		×			×
صناعة الزجاج	×	×	×	×	×	×				×			×		
صناعة السيراميك	×	×	×	×	×				×	×	×		×		
صناعة البورسلين	×		×	×			×	×	×	×		×	×	×	×
صناعة البلاستك				×							×				
صناعة المبيدات	×										×		×		
الصناعات الكيماوية العضوية	×			×				×							
الصناعات الكيماوية الغير عضوية	×			×	×		×	×	×				×		×
مبيدات الحشائش	×		×												
صناعة الأسمدة	×		×	×			×	×			×				
صناعة المنظفات	×	×													
صناعة المطهرات			×								×			×	
مبيد الفطريات				×							×				
تكرير البترول	×						×	×	×						
صناعة الصبغات	×	×		×	×		×	×		×		×	×		

المعادن الثقيلة فى مياه الصرف / الصناعة	زرنيخ	باريوم	بورون	كادميوم	كروم	كوبالت	نحاس	حديد	رصاص	منجنيز	زئبق	نيكل	سيلينيوم	فضة	زنك
مواد حفظ الأخشاب	×		×		×		×				×				
مواد حفظ الجلود	×										×				
مواد التلوين	×			×	×	×	×		×						
صناعة البويات		×		×	×		×		×	×	×	×	×		×
الأدويــة ومســتحضرات التجميل			×								×				
صناعة الأحبار					×					×				×	
الغراء الحيوانى				×											
دباغة الجلود	×			×		×			×						
مواد التصوير			×	×	×			×			×		×	×	
صناعة النسيج				×			×	×					×		×
صناعة الورق ولب الورق			×			×	×						×		×
الصناعات الغذائية								×						×	
صناعة الطباعة				×					×			×			×
صناعة الثقاب									×	×					
صناعة البطاريات	×			×					×	×		×			×
أنابيب التليفزيون				×					×						×
صناعة المجوهرات							×							×	
الصناعــات الكهربيــة والاليكترونية			×				×				×		×		
صناعة المفرقعات		×							×			×			

٣- ترويب وترسيب الايدروكسيد: Hydroxide Coagulation / Precipitation

الطريقة التقليدية لإزالة المعادن الثقيلة هــى بالترســيب الكيميــائى للمعــادن كإيدروكسيدات يليها الترويب لجسيمات الإيدروكسيدات إلى زغبات أثقــل وأكبــر والتى عندئذ تنفصل عن الماء. هذه الطريقة يمكن أن تعمل على خفــض تركــيز المعادن ليكون من ٠,٣ إلى ١,٥ ملجرام/لتر وأحيانا يكون أقل من ذلك بكثير. عادة

المعادن الثقيلة تذوب فى المجال الحامضى وترسب فى المجال القلوى ولذلك فـــإن إرتفاع الرقم الهيدروجينى لمحلول يحتوى على معدن إلى المجال القلـــوى يســبب ترسيب المعدن المذاب. وقد تذوب المعادن ثانية عند رقم هيدروجينى مرتفع جــداً. لذلك فإن لكل معدن مجال رقم هيدروجينى مناسب لترسيبه (جدول ٥ فصل معالجة مياه الصرف من الصناعات الكيميائية).

يزاد الرقم الهيدروجينى بإضافة قلوى مثل إيدروكسيد الصوديوم أو إيدروكسيد الكالسيوم لتوفير أيونات الإيدروكسيد. تتفاعل أيونات المعادن الثقيلة فى المحلول مع أيونات الايدروكسيد مكونه جسيمات صلبة فمثلاً بالنسبة للنحاس كالآتى:-

$$Cu^{++} + 2\,Na\,OH \rightarrow \downarrow Cu\,(OH)_2 + 2\,Na^{+}$$

صلب

$$Cu^{++} + Ca\,(OH)_2 \rightarrow \downarrow Cu\,(OH)_2 + Ca^{++}$$

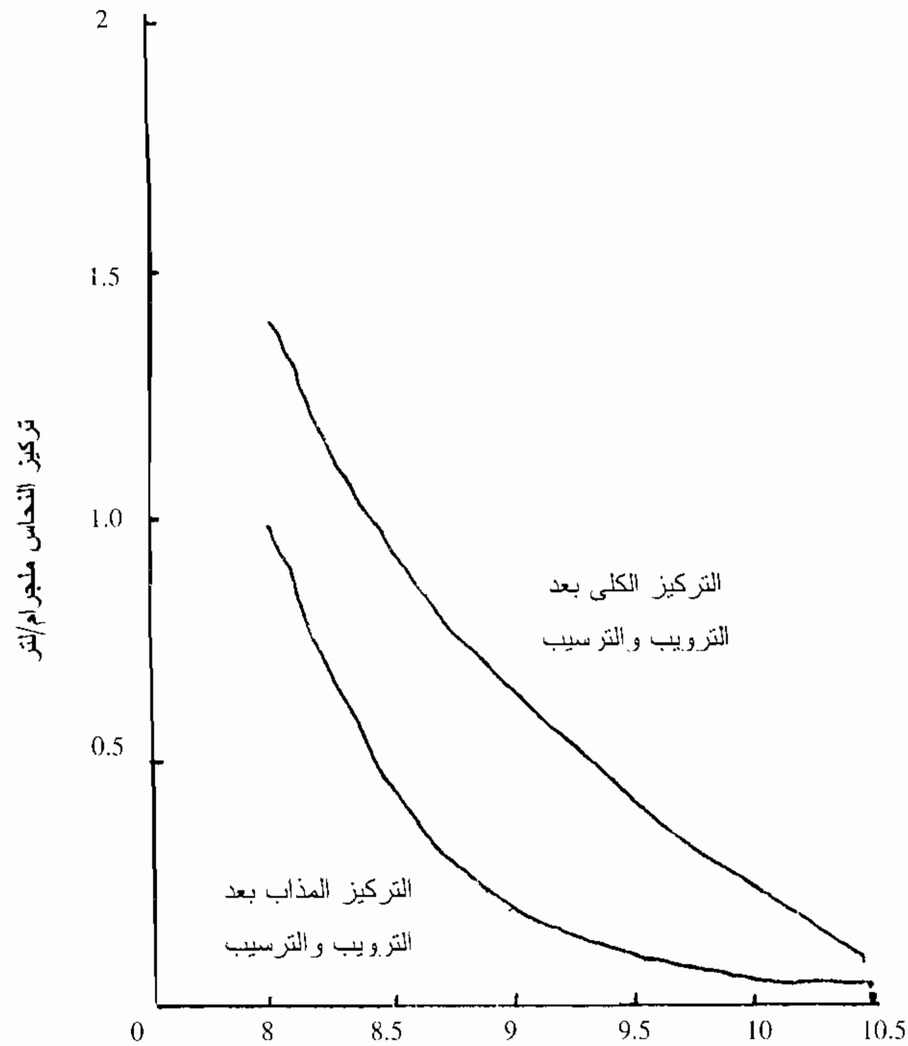
صلب

الرقم الهيدروجينى الذى عنده يكون المعدن أقل ذوبانا (أى يرسب) هـــو مـــن صفات هذا المعدن. ولكن هذا الرقم الهيدروجينى المحدد يتغير طبقاً لعوامل أخـــرى فى المحلول مثل عوامل التغليف والنشـــاط الســطحى (Chelating Agents And Surfactants) وهكذا وطبقاً لبعض الظروف ودرجات الحـــرارة. فمثـــلاً إذا كـــان النحاس هو الكاتأيون الوحيد فى محلول الماء المؤين عندئذ فإنه نظرياً أدنـــى رقـــم هيدروجينى للإذابة هو ٨,٩. أدنى رقم هيدروجينى للإذابة يعنى به أنه لازيادة فـــى ترسيب النحاس المذاب فى المحلول أى ليست النقطة التـــى عندهـــا يرســب كـــل انحاس. وعلى الجانب الآخر فإن النحاس المذاب فى المحلول المحتوى على مخلوط من النحاس والزنك، الكروم، النيكل، الحديد قد يكون الرقم الهيدروجينى لأقل إذابـــة هو ٩,٥. وفى نفس المحلول فإن أقل ذوبان للزنك عنـــــد رقـــم هيدروجينـــى ٨,٥ والكروم والنيكل عند رقم هيدروجينى ١٠ والحديد عند ٩. يلاحظ أن الكروم يمـــكن ترسيبه كإيدروكسيد إذا كان فى حالة التكافؤ الثلاثى ولذا فـــإن الكـــروم السداســـى

التكافؤ يلزم إختزاله إلى الثلاثى وذلك قبل الترسيب بالإيدروكسيد. لهذا السبب فإن بعض التجارب المعملية ضرورية لتحديد كلا من الرقم الهيدروجينى الذى عنده أقل إذابة للمعدن واحتمال التركيزات الناتجة ومطابقتها للمعايير. لكل نوع من مياه الصرف حتى مياه الصرف للصناعات المتشابهة قد يكون لها خصائصها الذاتية والتى تتطلب إجراء بعض التجارب.

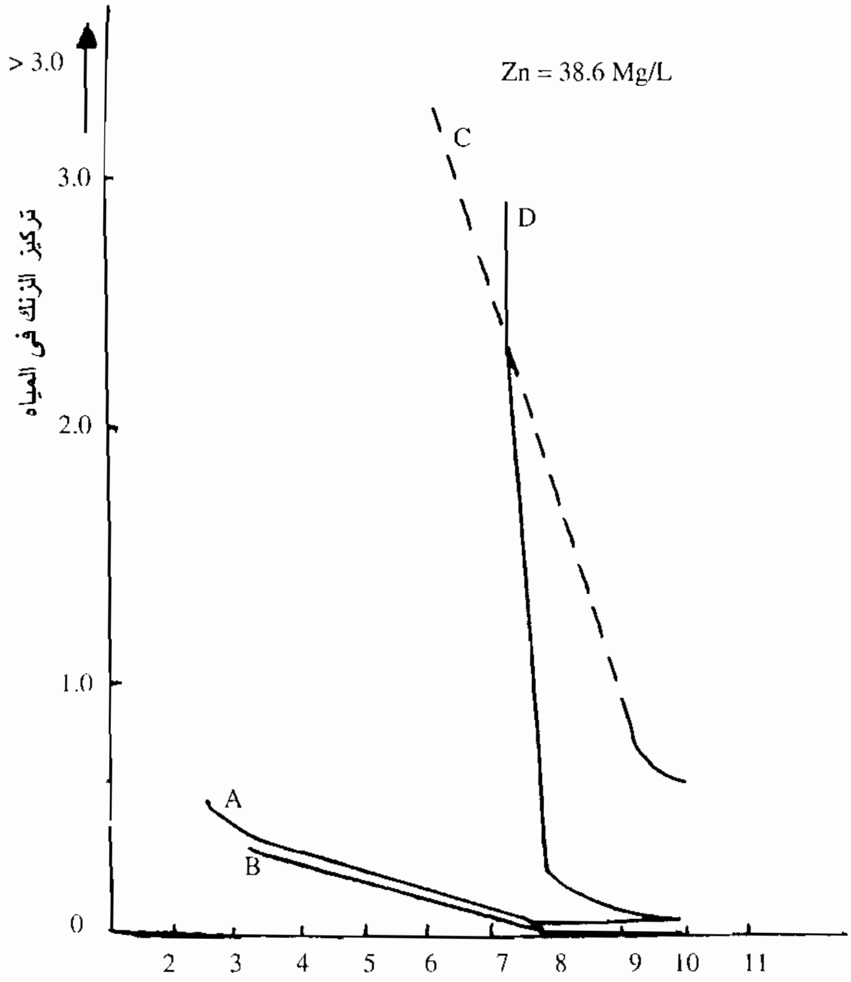
بعض هذه القواعد الأساسية موضحة فى الرسم البيانى فى الشكل (٧/١) حيث يوضح الرقم الهيدروجينى مقابل تركيز النحاس بغرض الترسيب لمياه الصرف الصناعى نتيجة عمليات التشطيب للمعادن المحتوية على النحاس ٧٨ ملجرام/لتر والزنك، الكروم، النيكل والحديد. وتم ضبط الرقم الهيدروجينى لدرجات مختلفة باستخدام لبن الجير وتم ترويب وترسيب المواد الصلبة وتم تحليل النحاس الكلى والنحاس المذاب فى المياه الرائقة بعد الترسيب. ومع زيادة الرقم الهيدروجينى من ٨ إلى ١٠,٥ فإن تركيز النحاس ينخفض. فى هذه العينة فإن أقل قيمة هى عند رقم هيدروجينى ١٠,٥ بخلاف القيمة النظرية عند ٨,٩ وعندئذ فإن بعض النحاس لايزال نتيجة الإتزان الكيميائى. ولهذا فإن التركيز عند رقم هيدروجينى من ٩ إلى ٩,٥ يكون مناسب للصرف.

الاختلاف بين نوع مياه الصرف موضح فى الشكل (٧/٢) والشكل (٧/٣) حيث المقارنة بين الرقم الهيدروجينى وتركيزات الزنك والنيكل فى المياه الرائقة (Supernatent). وبمجرد تحديد الرقم الهيدروجينى وترسيب إيدروكسيد المعدن فإن الخطوة الثانية هى ترويب الأجسام العالقة إلى أجسام أكبر وأثقل لإمكات ترسيبها. وطبيعى فإن زغبات الإيدروكسيد تميل إلى الإلتصاق مع بعضها البعض ولكن ليس بالدرجة الكافية التى تسمح بإزالة كل الأجسام العالقة. لتحسين الترويب والترسيب وإزالة الأجسام العالقة تستخدم مادة الترويب من البولى إليكتروليت. وبعد ترسيب الأجسام الصلبة يتم صرف المياه الرائقة فى حالة الرقم الهيدروجينى الغير مرتفع. يتم جمع الحمأة لسحب المياه منها ثم التخلص منها.



شكل (٧/١) التركيز الكلى والتركيز المذاب فى المياه الرائقة مقابل الرقم الهيدروجينى لمياه الطلاء المعدنى الكهربى

الحالات الأولى pH = 2.5، cu = 78 ملجرام/لتر، zn = 0.53 ملجرام/لتر، cr = 79.5 ملجرام/لـــتر، Ni = 96 ملجرام/لتر، Fe = 13.4 ملجرام/لتر.



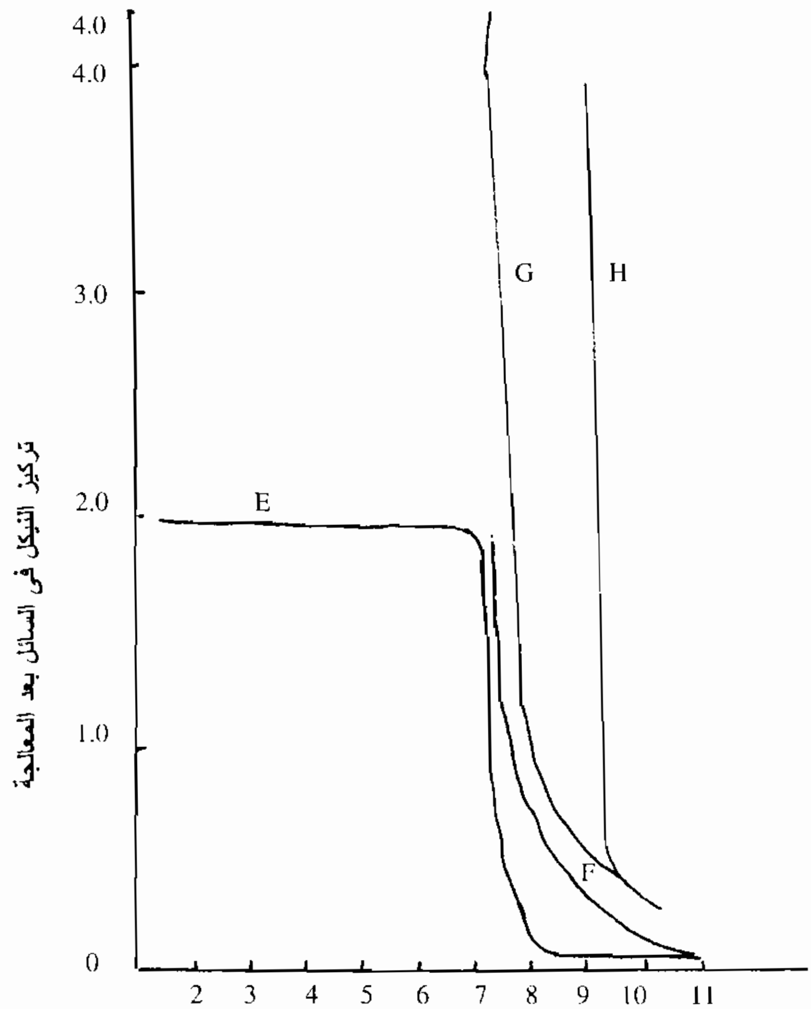
شكل (٧/٢) مقارنة الرقم الهيدروجينى مقابل التركيز الكلى للزنك فى المياه الرائقة (Supernatent) لمختلف مياه الصرف

A = مياه صرف ترسيب كهربى لمياه بها cr، cu، Fe، Ni

B = مياه صرف طلاء البورسلين بها cr، cu، Fe، Ni

C = مياه صرف لطلاء كهربى بها cd، cr، Fe، Ni، Po_4

D = مياه صرف طلاء البورسلين على المعدن بها F، Fe، Ni، Po



شكل (٧/٣) مقارنة الرقم الهيدروجينى مقابل التركيز الكلى للزنك فى المياه بعد المعالجة لمختلف مياه الصرف

E = مياه صرف طلاء البورسلين بها cr، cu، Fe، Ni

F = مياه صرف طلاء البورسلين وتشطيب المعدن بها F، Fe، Ni، Po_4

G = مياه صرف تخليل المعدن بها Cr، cu، Fe، Zn

H = مياه صرف تشطيب معدن بها cr، Fe، Ni، Zn، Po_4

خطوات الإعداد للتصميم: Approach To Design

يلـــزم أولاً البدء فى تجميع البيانات للتعرف على طبيعـــة ودرجـــة المشـــكلة وزيادة التعرف على الطرق المناسبة لحل المشكلة. كما يلزم أن يتـــآلف المـــهندس المصمم مع العملية الصناعية المنتجة لمياه الصرف وكذلك على المخطـــط العـــام للمصنع. ولمعرفة طبيعة ودرجة المشكلة يتم جمع عينات من مياه الصرف وقيـــاس التدفقات على ثلاث مستويات. التدفقات المستمرة وغير المستمرة والتدفقات الطارئة (كما فى حالة العمليات المرحلية أو الغسيل). والتصرف فى نهاية الماسورة النهائية (كل مياه الصرف من المصنع)، وكذلك الأحواض المنفردة التى يتم صرفها أحيانـــــا. يتم إختيار العينات بالنسبة للملوثات التى يمكن أن تتداخل فى عمليـــات الترســـيب (مثل الزيوت والشحوم ومواد النشاط السطحى) وكذلك بالنســـبة للملوثـــات التـــى وضعت لها حدود. بعد التعرف على الملوثات يتم إعداد الدراسات اللازمة لتحقيـــق أقصى معالجة لمياه الصرف والحمأة والقواعد التصميمية لتحديد الطـــرق التبادليـــة والأحجام والمساحات حيث المشاكل التى تتطلب معاملة خاصـــة (مثـــل التدفقـــات المرحلية). يلى ذلك مقارنة هذه البدائل على أساس التكاليف الرأســـمالية وتكـــاليف التشغيل والصيانة والعمـــر الإفتراضى للمشروع والمساحـــات اللازمـــة ومـــدى الاعتماد عليه.

تعتبر المعايشة والتفهم لمختلف العمليات الصناعية فـــى المنشـــأة الصناعيـــة أساسى عند تصميم برنامج أخذ العينات وخطة التحاليل. فمثلا فى حالة إعداد أسطح المعادن بالمعالجة الكيميائية (Pickling) للتشطيب فإن البيانات الضروريـــة تشـــمل تسلسل العملية، حجم الأحواض، معدل تدفق المياه المستخدمة فى الغسيل. وكذلـــك التغذية بالكيماويات للأحواض ذات التركيز العالى، درجـــة الحـــرارة، وســـاعات التشغيل. كما أنه من المفيد معرفة المساحة السطحية وأوزان المواد الداخلـــة فـــى التصنيع وخاصة على ضوء الضوابط اللازمة لمقارنة أحمـــال الصـــرف بالنســـبة

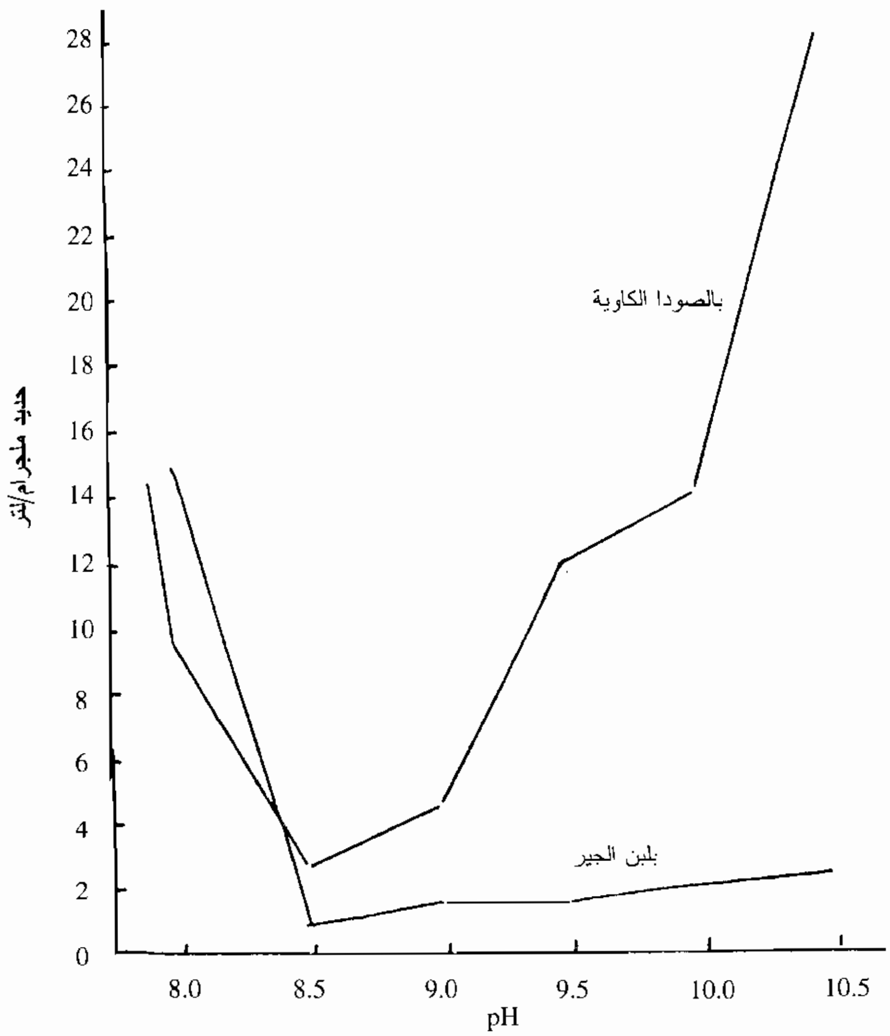
للمنتج النهائى. وهذه البيانات ستساعد فى تحديـــد الأحجـــام اللازمـــة لإمكانيـــات المعالجة وتقييم إمكانيات التقليل من استعمالات المياه وتحديد مصـــــادر معينـــة أو المواد المتداخلة وإختيار مادة الصنع للإنشاءات. بعد التعرف على مصـــادر ميـــاه الصرف الصناعى يبدأ عمل برنامج أخذ العينات. للحصول علـــى عينـــات ممثلـــة للواقع يلزم إستمرار أخذ العينات مرتين أو ثلاث مرات من دورة التشغيل فى حالـــة المصانع حيث نظام الإنتاج ثابت كل يوم. أما فى حالة المصانع الأخرى فإنه يتـــم تصميم برنامج أخذ العينات طبقاً لبرنامج الإنتاج.

تبنى الدراسة الخاصة بالمعالجة على أساس نتائج التحاليل وتحديد التدفقـــات. وعادة فإنه طبقاً للمخطط العام للمصنع ووصلات المواسير القديمة والطريقة العملية التى تؤخذ بها العينات فإنه يلزم خلط العينات طبقاً لنسب التدفق لتصبح عينة مركبه وذلك لمحاكاة مياه الصرف فى ماسورة الصرف النهائى. وكذلك إذا كان الحد مـــن استخدام المياه وارد ويمكن تقديره فإنه يلزم توفير عينـــات مركبـــة (Composite) وخلطها لمحاكاة مدى تأثير هذا التصرف على مخطط المعالجة. تقليل كمية الميـــاه يزيد من تركيز المعادن بما ينتج عنه زيادة الرواسب لكل وحدة حجم مـــن الميـــاه. وكلما زادت المواد الصلبة العالقة كلما زادت القدرة على الترغيب بما يزيـــد مـــن قدرة الترسيب وإزالة المعادن. توجد ميزتين لنقص المياه المستخدمة وهما خفـــض الإستهلاك الشهرى من المياه المهدرة وصغر حجم أحواض المعالجة بما يقلل مـــن التكاليف الكلية.

بعد تحديد خليط العينات المختلطة التى تحاكى الميـــاه الداخلـــة إلـــى محطـــة المعالجة، يتم قياس التركيز الأولى للمعادن والرقم الهيدروجينى. وقـــد يتـــم عمـــل سلسلة من التجارب للتغير فى الترسيب مع الرقم الهيدروجينى. بعد ركـــود الميـــاه المرسبة يتم قياس تركيز المعدن فى المياه الرائقة والرقم الهيدروجينى الذى عنـــده أقل تركيز للمعادن أو أن يكون تركيز المعادن فى حدود المعايير المقرره، عندئـــذ

يتم إختيار هذا الرقم الهيدروجينى كأفضل رقم هيدروجينى للتفاعل. هذه التجارب تتم عادة باستخدام لبن الجير أو الصودا الكاوية أو بعض المواد القلوية الأخرى، حيث يمكن تفضيل أى منها عن الآخر طبقا للظروف. من وجهة نظر الصيانة يفضل استخدام إيدروكسيد الصوديوم لسهولة إضافته. أما لبن الجير فإن أداءه أفضل وذلك فى حالة التركيز المنخفض للمعدن حيث أنه يكون بأحجام كبيرة فى المحلول بما يساعد على الترسيب شكل (٧/٤). لبن الجير يزيل التركيزات العالية من أيون الكبريتات بترسيب كبريتات الكالسيوم، وهو رخيص التكاليف ولكنه منتج لكميات كبيرة من الحمأة، يلزم التحضير للجير المطفى فى شكل الروبة (Slurry) وضخه لأنه يرسب ويعيق التدفق فى المواسير. عند إضافة هذه الكيماويات إلى مياه الصرف يلزم ملاحظة الحجم اللازم للوصول إلى الرقم الهيدروجينى المطلوب. هذه البيانات ضرورية عند تقدير طاقة بعض البيانات مثل طاقة الطلمبات وإمكانيات تخزين الكيماويات وتقدير تكاليف التشغيل.

قد تكون إضافة البوليمر غير ضرورية وذلك فى حالة سرعة ترسيب المواد الصلبة بضبط الرقم الهيدروجينى مع ترك مياه رائقة. عادة تكون الخطوة التالية فى دراسة المعالجة هى إختيار القنينة (Jar Testing) وذلك لإختيار أفضل البلمرات وأفضل جرعة. فى هذه التجربة يتم وضع عدة قنينات أو كؤوس محتوية على عينات من مياه الصرف التى تم ضبط رقمها الهيدروجينى والتى توضع أسفل عدة خلاطات ويوضع فى كل قنينه وفى وقت واحد إما جرعات متساوية من بلمرات مختلفة أو جرعات مختلفة من بوليمر واحد شكل (٤/ملحق أ). بعد خلط العينة لفترة زمنية محددة فإنه يمكن مقارنة كفاءة البوليمر أو الجرعة بالنظر. يمكن مقارنة العينات ذات المياه الرائقة الأكثر نظافة بالتحاليل. الكفاءة المطلوبة لخاصية البوليمر هى لإنتاج زغبات (Flocs) ثابتة وذات سرعة ترسيب عالية مع إنتاج مياه ذات محتوى قليل جداً من الجسيمات التى تظل عالقة. سرعة تشغيل الخلاط قد تختلف لتحديد



شكل (٤/٧) مقارنة تأثير لبن الجير مقابل الصودا الكاوية فى إزالة الحديد من مياه الصرف المنتجة من غسيل الحديد بالفوسفات، تخليل الصلب، طلاء البورسلين.

يوضح المخطط أن هناك إختلافات

الطاقة المناسبة المطلوبة. بعد تحديد أفضل المروبات والجرعة المناسبة يتم البدء في عمل إختبار الترسيب (Settling Test). أو لا يتم وضع الماء الذى تم ضبط رقمه الهيدروجينى فى مخبار مدرج أو فى حوض مصمم لإختبارات الترسيب. يتم وضع البوليمر عند الجرعة المحددة ثم الخلط. بمجرد توقف الخلط يتم تسجيل إرتفاع الحمأة مع الوقت حتى يصل معدل الترسيب إلى الصفر. يتم رسم هذه النتائج على منحنى للحصول على خصائص منحنى الترسيب، حيث يستفاد بهذا المنحنى فى تعيين معدل التدفق أو التحميل السطحى فى عملية الترسيب. إيدروكسيدات الأملاح التى تتروب مع البوليمر الجيد بالجرعة المناسبة ترسب عادة بسرعة عالية، ولكن نظراً للتغيرات التى تحدث فى المصنع فإنه يتم مراعاة عامل الأمان بالنسبة لحساب معدل التدفق. يستخدم معدل التدفق لحساب المساحة السطحية المؤثرة لعملية الترسيب. فى حالة الزغبات الكبيرة والتى ترسب فوراً فإن معدل التدفق (التحميل السطحى) يمكن أن يكون مرتفع حتى ٦٠ متر مكعب / المتر المربع / اليوم ولكن التصميم يجب ألا يزيد عن ٤٠ متر مكعب / المتر المربع / اليوم وعادة تتراوح قيمة التحميل السطحى ما بين ١٠ - ٣٠ متر مكعب / المتر المربع / اليوم.

الخطوة الأخيرة فى دراسة المعالجة هى تقييم إزالة المياه من الحمأة المرسبة (Sludge Dewatering Capacity). معظم حمأة الايدروكسيد بعد الترسيب يكون محتواها من الماء من ٩٦-٩٩% كما يمكن سحب المياه لتصل إلى ٦٥-٨٥%. حالياً الطرق المستخدمة لسحب المياه من الحمأة هى طبقات التجفيف الرملية، الترشيح بالتفريغ، أو الترشيح بالضغط. يتوقف إستخدام طبقات الرمل للتجفيف على المناخ ولكن يمكن محاكاة هذه الطريقة فى المعمل وذلك بعمل عامود من الرمل ثم وضع الحمأة على السطح ثم تقييم كمية الترشيح ونوعيته ثم أخيرا كمية الرطوبة فى الحمأة.

إستخدامات سحب المياه (الترشيح) بالتفريغ أو بالضغط يمكن تصميمها من ناتج إختبارات المقاومة النوعية وورقة الترشيح على المستوى المعملى.

إختبار المقاومة النوعية يستخدم لتعيين إمكانية الترشيح (سحب المياه) للحمأة. يتم عادة إعداد الحمأة بمركب كيماوى مثل الجير (Lime) أو البوليمر أو كلوريد الحديديك قبل الترشيح. هذا الاختبار يفيد فى تحديد ما هى الكيماويات المستخدمة وكذلك الجرعة المناسبة لسحب المياه من حمأة معينة وأقصى جرعة تحقق أدنى قيمة للمقاومة النوعية. طريقة الاختبار هى بوضع عينة حمأة معالجة أو غير معالجة فى جهاز قمع بوخنر (Buchnner Funnel) تحت التفريغ مع القياس لكمية المياه المرشحة مع الوقت. يتم كذلك تعيين كمية المحتوى من الرطوبة الأولية والنهائية بالنسبة للحمأة. يتم عمل منحنى لكل من المياه المرشحة (Filterate) مقابل الوقت مقسوماً على الحجم، وهذا المنحنى (b) يتم حسابه خلال أفضل خط ملائم خلال النقط. قيمة المقاومة النوعية (R) بالسنتيمترات على الجرام يتم حسابها بالمعادلة:

$$R = \frac{2\, b\, PA^2}{M\, C}$$

حيث:

b = منحنى المياه المرشحة : ثانية / سم٦.

P = التفريغ المستخدم كيلو نيوتن / م٢ (Kn/m^2)

A = المساحة متر مربع

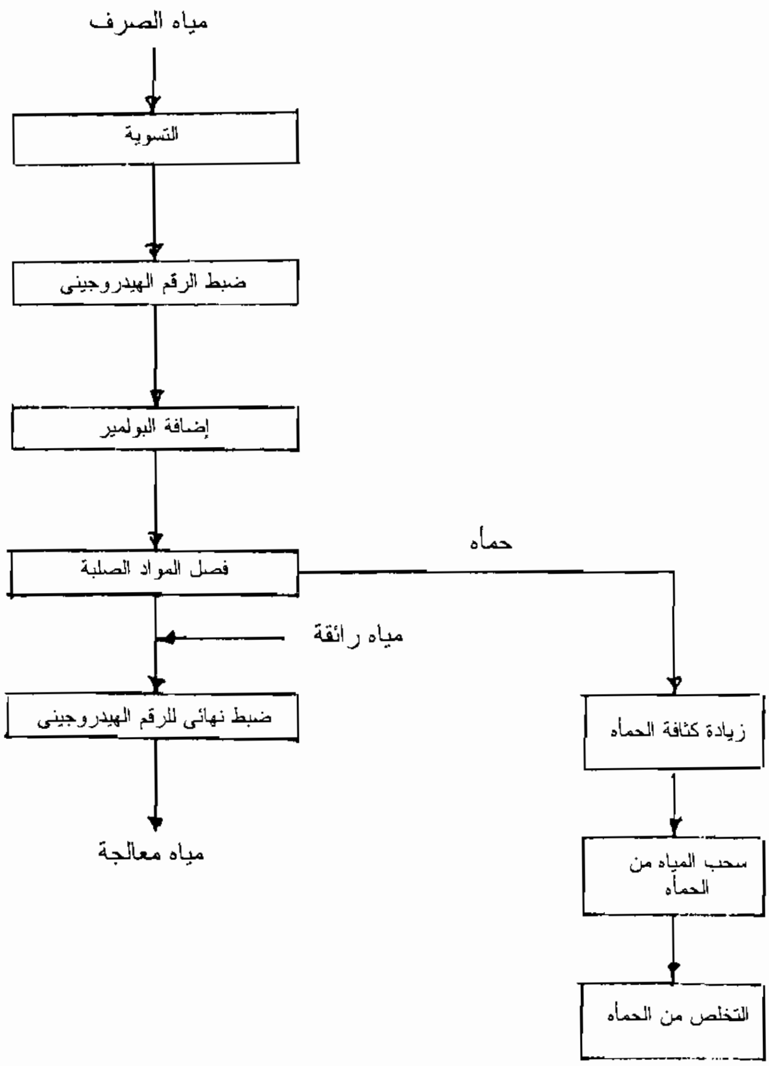
M = لزوجة المياه المرشحه نيوتن. ثانية / متر مربع $(N.s / m^2)$

C = المواد الصلبة المرسبه لكل حجم من المياه المرشحة جرام / سم٣.

بعد تحديد ما إذا كان عـــامل المعالجـــة (Conditioning Agent) مفيـــد أم لا ضرورة له، يمكن عمل إختبارات ورقة الترشيح. وهذه الاختبارات ســـوف تحـــدد نوع نسيج الترشيح الذى يمكن استخدامه وحجم الترشـــيخ بـــالتفريغ أو الترشـــيح بالضغط وكمية الرطوبة فى قشور الحمأة (Cake)، كمية المياه المرشحة، ومتغيرات أخرى فى الاختبار قد تشمل الوسط الترشيحى وزمن الدورة. نتائج جمع البيانـــــات تحدد العمليات الضرورية وأحجامها فى وحدة المعالجة الأخيرة.

المخطط العام لترويب وترسيب إيدروكسيد المعدن بالنسبة لوحـــــدة المعالجـــة للمياه فى الماسورة النهائية للمنشأة الصناعية شكل (٧/٥). توجد تصميمات متعـــددة ومحددة وتتناسب مع هذا الإطار العام. تعتبر التسوية ضرورية لضبط التغيرات فى معدل التدفق والرقم الهيدروجينى والتركيز. تتم عملية ضبط الرقم الهيدروجينى فى حوض خلط حيث زمن المكث ١٠-١٥ دقيقة. وهذا الحوض يمكن أن يجهز بجهاز قياس الرقم الهيدروجينى لضبط الكمية المستخدمة من الصودا أو الجير. أما خطـــوة إضافة البوليمر فيمكن أن تتم كذلك فى حوض خلط زمـــن مكـــث ١٠-١٥ دقيقـــة وكذلك يمكن أن يضاف البوليمر فى الخط (In Line) لعملية فصل المـــواد الصلبـــه حيث يتوقف ذلك على طريقة الفصل التى تم إختيارها.

الماء الرائق بعد فصل المواد الصلبه قد يتطلب ضبط نهائى للرقم الهيدروجينى قبل الصرف على شبكات الصرف وذلك فى حالة زيادة الرقم الـــهيدروجينى عـــن المعايير المقررة للصرف. الحمأة الناتجة يتم جمعها لسحب المياه، كما يمكن نقلـــها مباشرة إلى أحواض التجفيف الرملى حيث يتم بعد ذلك جمعها والتخلـــص منـــها. الحمأة الجافة تستخدم فى عمليات الـــردم مع مراعاة أنها تشـــكل خطـــورة علـــى الصحة العامة.



شكل (٧/٥) المخطط العام لترويب وترسيب المعدن

بدائل عمليات فصل المواد الصلبة Solid Separation Process Options

توجد طرق كثيرة لفصل المواد الصلبة من المياه نتيجة الـترويب والترسـيب الأكثر شيوعاً فى الاستخدام هى معالجة إيدروكسيد المعدن التـى سـبق شـرحها والشكل (٧/٦) توضيح تخطيطى لبعض الأمثلة وهذه تشمل:

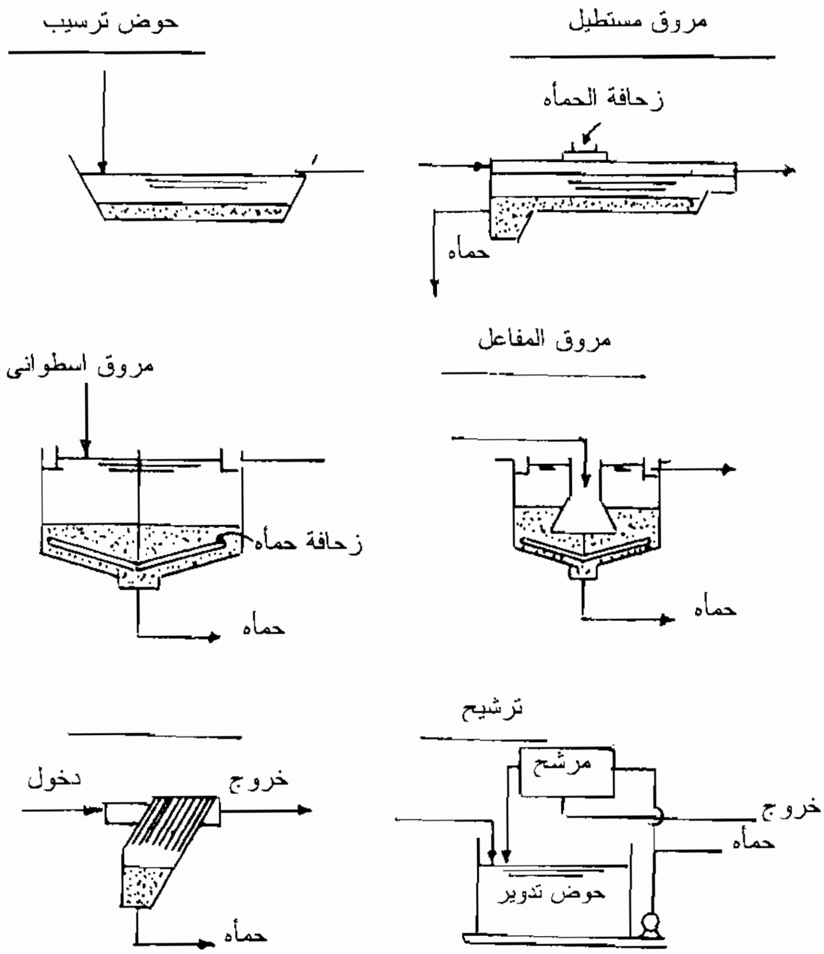
١- حوض أو بركة الترسيب: (Sedimentation Pond or Lagoon)

وهو عبارة عن حوض مستطيل فى الأرض الترابية وقاعدته مـن الخرسـانة ويتحدد حجمه بأحد طريقتين:

أحدهما أن يتم التصميم على أساس معدل التدفق السطحى الذى يمكن حسـابه من دراسات المعالجة لإعطاء المساحة السطحية المطلوبة، والطول اللازم للحـوض لتأكيد أن أصغر الجسيمات من خاصية هذه المياه لديها المسافة الكافية لترسب. ومع رسوب الحمأة فى قاع الحوض فإن كفاءة النظام تقل بمـا يتطلـب إزالـة الحمـأة المتراكمة.

والطريقة الثانية هى أنه يمكن تصميم الحوض على أساس تراكمـات الحمـأة فمثلا يمكن أن يصمم الحوض بأكثر من بطارية حيث عندما تكون أحد البطاريـات فى النظافة تكون الأخرى فى الاستخدام.

سلبيات أحواض أو بـرك الترسـيب هـى طبيعـة الحمـأة المحبـه للميـاه (Hydrophilic) حيث لاتفقد المياه بسهولة مع الوقت، هـذا بالإضافـة إلـى ميـل الجسيمات الصلبة إلى الالتحام معا، كما أن أحواض أو بـرك الترسـيب الترابيـة تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأرض.



شكل (٦/٧) أمثلة لعمليات فصل المواد الصلبة

المروقات التقليدية:

تم إستخدام المروقات التقيدية للتغلب على المشاكل المتعلقة بــبرك الترسـيب. المروق يمكن أن يكون مستطيل أو مستدير وله قاع محـــدب مخروطـى. يكـون المروق مجهز بكاسحة دوارة يتم تشغيلها بمصدر طاقة. تعمل الكاســحة بتجميـع الحمأة المترسبة إلى أدنى نقطة فى القاع للصـــرف. يمكــن أن يجــهز المــروق المستطيل أو حوض الترسيب بتجهيزات متحركة لجمع الحمأة والتى تقــوم بكشــط الحمأة إلى قادوس جمع الحمأة. يتوقف حجم الحوض على اساس تصميـــم معـدل التدفق السطحى لتحديد المساحة السطحية المؤثرة. تنقل الحمأة من آن إلى آخر إلـى حوض أو بركه حيث تسحب المياه أو تزاد كثافة الحمأة مع مرور الوقت. فى حالـة الحاجة إلى ترشيح الحمأة أو السحب الميكانيكى للمياه يسمى هذه الحوض بمكثـــف الحمأة (Sludge Thickner). وهو يشبه المروق ولكن حجمه طبقاً لزمن المكث قبـل مرحلة سحب المياه.

المروق ذو التلامس للمواد الصلبة: (Solids Contact Clarfier)

هذا المروق يشبه المروق التقليدى ولكن مع إضافة قمع مقلوب فـــى الوسـط وقريب من السطح. المياه التى تم ضبط رقمها الهيدروجينى مع البوليمر تدخل إلـى المروق من خلال قمة القمع، حيث تتكون الزغبات داخل القمع وتبدأ فى الترسـيب. وبدلا من إستمرار سحب الحمأة فإنها تتراكم فى مستوى فوق الطرف السفلى للقمـع حيث تتكون طبقة كثيفة من الحمأة تسمى (Sludge Blanket) وهذه الطبقة الكثيفـــة من الحمأة تعمل كنواه لتكوين الزغبات وكذلك كمرشح للزغبات صغـيرة الحجـم. تتدفق المياه الرائقة خلال الطبقة الكثيفة للحمأة ثم إلى أعلا من خلال هــدار حـول قمة المروق.

الترسيب بالألواح المائلة: (Tilted Plates Settler)

وحدة الترسيب بالألواح المائلة عبارة عن وحدة عميقة مستطيلة مجهزة بعـــدة ألواح متوازية مائلة بزاوية (عادة من ٤٥°–٥٥°) وبفاصل من ٢٥–٥٠ مليمـتر (١ أو ٢ بوصة) بين كل لوح والآخر. النظام العادى المتبـــع هـــو مرســب لاميــلا (Lamella Settler). المياه التى تم ضبط رقمها الهيدروجينى وأضيف لها البوليمــر تتدفق لأعلا خلال الألواح المائلة مع رسوب جسيمات الزغبات على الألواح والتــى تتزلق إلى مكان جمع الحمأة فى وحدة الترسيب. فائدة وحدة الترسيب هذه هـــى أن الزغبات لديها مسافة قصيرة حيث ترسب وذلك نظراً لتوفير مساحة سطحية كبــيرة بواسطة الألواح المتقاربة المائلة. الحجم الكلى للوحدة صغير جداً مقارنة بـــالمروق التقليدى بنفس الكفاءة، هذا بالإضافة إلى أن هذه الوحدة يمكن تصنيعها فى أى مكان ثم تنقل لتركيبها فى موقع الإنشاء. وهذه الألواح المائلة يمكن كذلك إنشـــائها فـــى المروقات التقليية لزيادة المساحة السطحية الكلية. وقد تحدث مشاكل فى التشغيل فى حالة التراكم الزائدة للحمأة عن القدر المخصص لها بما يجعل من الصعب إزالتـــها وهذه المشكلة يمكن أن تتعقد فى زيادة إضافة البوليمر.

نظم الترشيح:

صممت نظم الترشيح كبديل لمرحلة الترسيب. فمثلا بمجرد تكـــون الزغبـــات فإنه يمكن ترشيح الزغبات من مياه الصرف بواسطة المرشح الذى يعمل بـــالضغط والذى يسمى (Filter Press) حيث عادة تستخدم المـــواد الحجريـــة والتـــى تســمى (Diatomaceous Earth) لإنتاج مياه مرشحه وقوالب من الحمأة. هناك وحدة أخـــرى مستخدمة عادة والتى تتكون من طبقات الترشيح الغير ملاصقـــة (Filter Module) لحوض التخزين. حيث تتراكم الحمأة فى طبقات المرشح ويتم تدويرها إلى حـــوض

التخزين. وإذا كانت المياه المرشحة رائقة يمكن صرف الحمأة وإلا يعاد تدويرها للعملية.

إعتبارات التشغيل:

- إنه من الضرورى المراجعة لنظم ضبط الرقم الهيدروجينى، نظافة عامود القياس للرقم الهيدروجينى ومعايرته من آن إلى آخر ذلك لأن ترسيب الايدروكسيد يتوقف على الرقم الهيدروجينى.
- يلزم عمل إختبار القنينة (Jar Test) من آن لآخر وذلك لتعظيم أداء جرعة البوليمر وتأثيرها وخاصة فى حالات عدم وجود حوض للتسوية.
- إن عملية ترويب / ترسيب الإيدروكسيد مستهلكه للوقت، حيث تتطلب عملية سحب المياه من الحمأة وقت كبير سواء بتنظيف المرشحات أو إزالة قوالب الحمأة الجافة من طبقات الرمل، المحافظة على حركة الحمأة فى المواسير، تحضير المحاليل الكيميائية، صيانة الطلمبات والمحابس والخلاطات، وكاسحات الحمأة واستمرار كفاءة الأداء لنظم التحكم وإجراء التحاليل الكيماوية لتقييم كفاءة الوحدة.

التحول الكيماوى: (Chemical Conversion)

يوجد نوعين فقط من التحول الكيماوى المطلوب وذلك قبل القيام بعملية ترسيب الأيدروكسيد وهما إختزال الكروم السداسى وتدمير السيانيد. (Hexavalent Chromuim Reduction' Cyanide Distruction) أفضل تنفيذ لهذه التحولات هى وحدات المعالجة المنفصلة وذلك ليمكن معالجة حجم صغير من مياه الصرف بدلا من معالجة كل المياه. نظراً لأهمية التحويل لكل من الكروم السداسى التكافؤ والسيانيد فإن كثيراً من المنشآت الصناعية تتجنب إستخدامهم وذلك فى حالة إمكان إستخدام البدائل.

إختزال الكروم السداسي:

يستخدم الكروم السداسى فى بعض الصناعات رغم أن الكروم ثلاثى التكافؤ يكون ايدروكسيد الكروم $[Cr(OH)_2]$ الذى يرسب إلا أن الكروم السداسى لايرسب كإيدروكسيد مع إضافة القلوى. يمكن تحويل الكروم سداسى التكافؤ إلى الثلاثى التكافؤ بالاختزال الكيميائى. يحدث تفاعل الإختزال بسرعة عند رقم هيدروجينى ٢ بإضافة ثانى اكسيد الكبريت أو بايسلفيت الصوديوم $(NaHSO_3)$ أو سلفيت الصوديوم (Na_2SO_3). ويمكن التحكم فى عملية الاختزال وإكمالها بواسطة جهاز قياس جهد الأكسدة والاختزال (Redox Potential) حيث تتغير قراءة هذا الجهد تبعاً لخصائص مياه الصرف الصناعى. وكذلك يمكن معرفة التغير أو الاختزال بالتغير فى اللون من الأصفر إلى الأزرق. وعند هذا الحد يمكن إضافة القلوى لترسيب الكروم الثلاثى وكذلك يمكن إضافة مياه الصرف إلى مياه صرف أخرى لترسيب الأيدروكسيد.

تدمير السيانيد:

يعتبر تدمير السيانيد هام (CN^-) فى إزالة المعادن وذلك نظرا لأن السيانيد يكون مركبات معقدة (Complexes) مع المعادن بما لايمكن من ترسيب هذه المعادن كإيدروكسيدات. ولكن مع كسر الرباط ما بين المعدن والسيانيد فإن المعدن يتحرر ليرسب فى ظل الرقم الهيدروجينى المناسب. يعتبر تدمير السيانيد هام كذلك فى المعالجة المسبقة حيث الجرعات العالية المفاجئة من السيانيد فى محطات المعالجة البيولوجية يمكن أن تدمر الكائنات الدقيقة النشطة أو أن تمر من خلال محطة المعالجة إلى مجرى الصرف. التركيزات القليلة من السيانيد (سواء كان حر أو فى شكل معقد من أيونات السيانيد) قد يتم تدميرها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة فى

محطة المعالجة والتى تكون قد تأقلمت عليها. عملية تدمير السيانيد تتم على مرحلتين.

المرحلة الأولى تشمل تحويل السيانيد إلى السيانيت (C N Ó) بواسطة هيبوكلوريت الصوديوم (Na O Cl) عند رقم هيدروجينى ١٠ أو أكثر. ومع خفض الرقم الهيدروجينى إلى ٨,٥ يتحول السيانيت إلى ثانى أكسيد الكربون والنيتروجين. وهذه المرحلة تحتاج إلى حوالى ٣٠ دقيقة ونقطة النهاية للتفاعل يمكن التحكم فيها بواسطة مقياس جهد الأكسدة والإختزال أو بتغيير اللون من الأخضر إلى الأزرق.

المرحلة الثانية تحتاج إلى ١٠ دقائق ولأغراض التصميم فإن كمية الكيماويات اللازمة يلزم تحديدها بالتجارب المعملية. فى التنفيذ يمكن التحكم فى التفاعل باستخدام جهاز قياس جهد الأكسدة والاختزال وجهاز قياس الرقم الهيدروجينى. المياه الناتجة يمكن إضافتها لمياه صرف أخرى لترسيب المعادن. فى حالة استخدام السيانيد بكميات كبيرة فى العملية الصناعية فإنه يفضل استخدام نظام التبخير والاسترجاع بهدف إعادة الاستخدام لبعض السيانيد أو لتركيز الصرف المحتوى على سيانيد بما يقلل من حجم إمكانيات تدمير السيانيد وبالتالى خفض التكاليف.

٤- إعتبارات تصميمية أخرى:

توجد طرق أخرى متعددة لإزالة المعادن الثقيلة وسيتم مناقشة بعض منها كما أن بعضها يمكن استخدامه فى معالجة المياه فى ماسورة النهاية لمياه الصرف. ولكن من الناحية الاقتصادية تكون مناسبة فى معالجات التشطيب (Polishing Treatment) مثل حالات الترسيب بالكربونات أو السلفيد (كبريتيد) أو كتقنيات التحول مثل التبادل الأيونى أو التناضح العكسى وطرق أخرى.

التبادل الأيونى: (Ion Exchange)

عملية التبادل الأيونى تتكون من تبادل الأيونات المرغوب فيها مــن الراتيــخ بالأيونات غير المرغوب فيها والمذابه فى الماء والتى تحمل شحنة هيدروســتاتيكية مشابهة. الراتنج (Resin) له تركيب متشابك من أجسام التى تمتز أيونات ذات شحنة خاصة. راتنج الكاتأيون فى حالة عدم الاستخدام به كاتأيونات مثــل الــهيدروجين (H^+) المرتبطة بحبيبات الراتنج. مع التصاق مياه الصرف المحتوية على المعــدن بالراتنج فإنه يحدث تبادل بالإدمصاص ما بين أيونات المعدن وأيونات الــهيدروجين (H^+). عندئذ يوجد فى الراتنج أيون المعدن وفى مياه الصرف أيون الــهيدروجين. وأخيراً فإن كل حبيبات الراتنج يكون ملتصق بها أيونات المعادن الثقيلة. عندئذ فإن كاتأيونات الراتنج يلزم تنشيطها بمحلول حامضى لإزالة أيونات المعــادن الثقيلــة وإعادة نشاط الراتنج بأيون الهيدروجينى. المحلول المحتوى على المعــدن يتطلــب عندئذ المعالجة مثل الترسيب بالإيدروكسيد لإزالة المعدن.

وبالمثل يوجد كذلك تبادل آن أيونى لتبادل أيونات الكبريتـــات، الكلوريــدات، الكرومات، السيانيد ببعض الآن أيونات المطلوبة مثل أيون الإيدروكســيد (OH-). توجد أنواع مختلفة من الراتنجات لكل منها الاستخدام المناسب لأيونات معينة.

فى معالجة مياه الصرف يكون الراتنج موجود عادة فى عامود حيث تمر ميــاه الصرف خلال هذا العامود (Column) تحت ضغط. ولذلك فإن الجهاز الذى يتكــون من أربعة أعمدة منهم عامودين بهم الراتنج الكاتأيونى والعامودين الآخريــن بــهم الراتنج الآن أيونى حيث تتم العملية بالتتالى أو بالتوازى. العمل بـــالتوازى أكــثر سهولة حيث الراتنج فى العامود الأول من أعمدة الكاتأيون بعد أن يستهلك (يحــدد بمقياس التوصيل الكهربى للسائل الخارج) يتم توجيه التدفقات من مياه الصرف إلى العامود الثانى بينما العامود الذى إستعمل يتم تنشيطه. أما فى حالة العمليات بالتتالى

حيث تتدفق مياه الصرف خلال العمودين عادة مع إعتبار العامود كشــرطى حتــى لايحدث تسرب عند حدوث إستهلاك للعامود الأول (Exhausted). عندئـــذ توجــه المياه الداخلة إلى العامود الثانى والعامود الأول يتم تنشيطه ثم يوضع بعد ذلك فـــى الخدمة كالعامود الثانى. هذا النظام يتطلب مراقبـــة جيـــدة ولكـــن إســـتخدام أقـــل للكيماويات اللازمة لتنشيط الراتنج.

تنشيط أعمدة التبادل الأيونى:

يتم تنشيط الأعمدة فى تسع خطوات:

أولا يتم تصريف مياه الصرف من العامود، ثم يتم تقليـــب الراتنـــج بالـــهواء المضغوط يلى ذلك الغسيل بمياه الشرب ثم صرفها. بعد التهوية للتخلص من الهواء المضغوط يبدأ التنشيط. ينشط الراتنج الكاتأيونى بحامض بتركـــيز مـــن ٨-١٠% بالحجم والراتنج الآن أيونى ينشط بالصودا الكاويـــة بتركـــيز ٤% بـــالحجم. يتـــم تصريف الكيماويات ويضاف ماء الشرب ويستمر الغسيل حتى الوصول إلى رقـــم هيدروجينى ٣-٤ للمياه الخارجة من عامود الكاتأيون وإلى رقم هيدروجينـــى ١٠-١١ للمياه الخارجة من عامود الآن أيون. العامود عندئذ يكون جاهز للاستخدام. كل المياه والكيماويات التى إستخدمت فى عملية التنشيط يلزم معالجتها لإزالة المعادن.

استخدامات التبادل الأيونى:

عملية التبادل الأيونى تزيل المعادن بدرجة مؤثرة ولكن نظراً للتكاليف الأوليـــة لهذا النظام المتطور وكذلك تكاليف الصيانة والتشغيل والكيماويات اللازمة للتنشـــيط فإن التبادل الأيونى أكثر قبولا للتنشيط فى حالات معينة عن الأخرى. وللمحافظـــة على عمر الراتنج ولتقليل عدد مرات التنشيط وبالتالى تكاليف الكيماويـــات فـــإن نظـــام التبادل الأيونى يلزم أن يصمم بما يتطلب التنشيط ما لايزيد عن مرة واحـــدة فـــى اليوم ويفضل مرة واحدة كل أسبوع. إذا كانت مياه الصرف الصناعى الداخلة إلـــى

العامود مركزة عندئذ فإن خفض معدل التدفق سوق يقلل مـــن التكـــاليف الأوليـــة للجهاز مع إتزان هذين الاعتبارين فإن خفض كلا من الحمل الكيمـــاوى والحمـــل الهيدروليكى هو المفتاح إلى نظام تبادل أيونى إقتصادى وناجح. وهذه القاعدة هـــى التى تحدد جدوى استخدام هذه الطريقة.

وقد استخدم التبادل الأيونى فى معالجة مياه الصرف الصناعى لعملية تشـــطيب نهائى وتلميع بعد المعالجة بالترويب والترسيب بالإيدروكسيد وذلـــك فـــى حـــالات المعايير الحاسمة والمشددة لمياه الصرف المعالجة. أما فى حالة معالجة المياه الكلية الخارجة من الماسورة النهائية للمصنع فليس هذا عمليا حيث أن العامود يلـــــزم أن يصمم بالنسبة للتدفق الكلى للمصنع رغم أن الحمل الكيماوى يكون منخفض جداً.

نظراً لأن المياه المعالجة بالتبادل الأيونى عادة تكون ذات نوعية أفضـــل مـــن مياه الشرب فإن العملية قد تستخدم لتوفير مياه الغسيل لبعض المنتجات فى المنشآت الصناعية. المواءمة ما بين الأحمال الكيميائية والهيدروليكية على جـــهاز التبـــادل الأيونى يمكن تحقيقها أحياناً بمعالجة مياه الغســـيل (Rinse) فقـــط مـــن العمليـــات الصناعية.

أكثر الراتنجات شيوعاً فى الاستخدام لهذه التطبيقات هو راتنج الكاتأيون شـــديد الحموضة وراتنج الآن أيون ضعيف القلوية وشديد القلوية (لإزالة أيونات الســـيانيد والفلور (CN', F'). أما باقى كل مياه الصرف بالإضافة إلى مياه التنشـــيط للمبـــادل فإنها تعالج فى نظام إزالة المعادن التقليدى والأقل تكلفة.

يمكن إستخدام التبادل الأيونى لاستعادة المواد الثمينة من مصدرها. كثير مـــن معامل التصوير تستعيد الفضة بتمرير مياه الصرف لعمليات التحميـــض والطبـــع خلال اعمدة المبادل الأيونى ثم يتم جمع الفضة من محلول التنشيط. إستعادة معـــادن

ثمينة أخرى مثل الذهب والبلاتين يمكن أن تتم كذلك بالتبادل الأيونى. كما يستخدم التبادل الأيونى فى إستعادة معادن أخرى مثل النحاس.

التمهيد للتصميم: (Approach To Design)

يلزم تحديد الحمل الهيدروليكى والكيميائى للمياه الداخلة إلى العامود عند تصميم التبادل الأيونى. الحمل الهيدروليكى يحدد حجم العامود، الحمل الكيماوى يحدد كمية الراتنج وزمن الخدمة وكمية الكيماويات اللازمة للتنشيط. نظام التبادل الأيونى والنظام التقليدى لمعالجة مياه الصرف يجب أن يقيم من ناحية التكاليف الكلية وتكاليف التشغيل والصيانة والوفر فى المساحات والوفر فى المياه ومستقبل الصناعة ومستوى مهارة العمالة.

إعتبارات التشغيل:

- عملية التبادل الأيونى هى عملية متطورة لمعالجة مياه الصرف. وهى تتطلب الحرص فى التشغيل والتفهم للعملية والقدرة على التحكم فيها. وفى حالة إرتباط عملية التدوير والتبادل الأيونى مع عملية ترسيب المعدن فإن ٢٠% من الوقت اللازم للصيانة والتشغيل يكون من نصيب عملية التبادل الأيونى، ٨٠% لعملية الترسيب.
- الأعمدة الممتلئة بالراتنج يجب أن يسبقها مرشح متعدد الوسط الترشيحى بالفحم المنشط لمنع الانسدادات فى الراتنج بالمواد العالقة والتراكم البيولوجى من المواد العضوية. مياه الغسيل العكسى من المرشح يلزم معالجتها لذلك.
- فى نظام التدوير يلزم العناية الخاصة للتنسيق بين العملية الصناعية ونظام التبادل الأيونى نظراً لإرتباطهما الوثيق. سوف يكون من الضرورى صرف المياه وإضافة مياه جديدة للتعويض.

الترسيب بالكبريتيد والكربونات Sulphide and Carbonate Precipitation

إن الحد من المعادن الثقيلة إلى التركيزات التى تطابق المعايير المقررة للصرف قد لا تتحقق بالترسيب كإيدروكسيد أو بمعنى آخر فإن تركيز المعدن عند أدنى إذابة لإيدروكسيد المعدن قد لايكون منخفض بدرجة كافية. بعض المعادن فى نوعيات معينة من مياه الصرف قد ترسب كاملة ككبريتيد المعدن (Sulphides) أو ككربونات المعدن. هذه الأنواع من الترسيب تكون بكفاءة عالية فى حالة مياه الصرف المخففة ولذا فقد تستخدم كخطوة للتلميع (Polishing) بعد الترسيب بالإيدروكسيد. هذا بالإضافة إلى أن الكبريتيد والكربونات يمكن أن يكونا أكثر تأثيراً فى ترسيب المعادن فى المحاليل المركزة والمحتوية على عوامل تغليف (Chelating Agents) [عامل التغليف هو عبارة عن مادة كيماوية مثل الفوسفات أو السيليكات التى تمنع ترسيب المعادن التى تعمل هى على تغليفها وتقييدها]. هذا القيد أو الرباط مع عامل التغليف هو نوع من حالات الاتزان (Equilibruim)، حيث مع إزالة المعدن الموجود فى الحالة الأيونية المذابة فى المحلول بالترسيب، فإن عامل التغليف يتأين للمحافظة على هذا الإتزان. فى الترسيب بالكبريتيد وبالكربونات فإن أدنى نقطة إذابة أقل حساسية للرقم الهيدروجينى عن الترسيب بالإيدروكسيد.

يلزم تقييم تأثير ترسيب الكربونات أو الكبريتيد فى المعمل لمياه الصرف تحت الدراسة. وبعد ضبط الرقم الهيدروجينى المناسب لمياه الصرف يضاف الكبريتيد المذاب (كبريتيد الصوديوم Na_2S أو كبريتيد الحديدوز FeS أو كبريتيد عضوى) أو أيونات الكربونات (كربونات الصوديوم). يمكن تحديد الرقم الهيدروجينى المناسب وكمية الكيماويات باختبارات القنينه (Jar Tests). قد تكون إضافة البوليمر ضرورية لعملية الترسيب. يجب أن يتم الترسيب فى ظروف حيث تنمو حبيبات الراسب المستديرة بالحجم المناسب للترسيب أو للترشيح السريع. يتم بعد ذلك ترشيح المياه

الرائقة المنتجة بالنسبة للمعادن الثقيلة وتقارن بالنسبة لأفضل إزالة كلية. كما يجب عمل إختبارات الترسيب لتحديد حجم المروق. عادة فإن الرواسب يتم ترشيحها خلال الرمل أو خلال مرشح ورقى أو أى نوع من الترشيح. عند إستخدام كبريتيد الحديدوز FeS فإن الكروم السداسى التكافؤ يختزل إلى الثلاثى التكافؤ ويرسب كإيدروكسيد عند رقم هيدروجينى من ٨ إلى ٩ ولذلك ففى مثل هذه الظروف المحتوية على الكروم السداسى فإنه لايلزم فصلها لعمل معالجة منفصلة.

توجد سلبيات لهذه العمليات، حيث الكيماويات المستخدمة أكثر تكلفة من الصودا الكاوية أو الجير. ورغم أن المعالجة بالكبريتيد قد تزيل بعض المعادن الثقيلة بدرجة مؤثرة عن الترسيب بالكربونات أو الايدروكسيد فإن الكبريتيد نفسه ملوث سام والذى يلزم التخلص منه. معايير تركيز الكبريتيد فى المجارى المائية هو ١ ملجرام/لتر. وفى حالة وجود حامض أو الالتصاق بحامض ينتج كبريتيد الهيدروجين وهو غاز سام له رائحة كريهة. ولهذا يمنع التخلص من حمأة الكبريتيد لهذا السبب ولذلك فإنه لايوصى بالترسيب للكبريتيد. وإذا تطلب الأمر خطوة تالية للترسيب فإنه يلزم استخدام ترسيب الكربونات.

الإدمصاص: (Adsorbtion)

الإدمصاص هو التصاق المادة المذابة على سطح الأجسام الصلبة. وتوجد طرق إدمصاص متعددة لإزالة المعادن فى مراحل الدراسة والتطوير. وقليل منها ثبت نجاحه فى التطبيقات العملية لمعالجة مياه الصرف، وذلك رغم عمل كثير من الاختبارات المعملية والتجارب النصف صناعية.

وتشمل التقنيات هذه الآتى بطريقة مختصرة:

الإدمصاص بالكربون المنشط: Activated Carbon Adsorbtion

رغم أن الكربون المنشط إستخدام لإزالة المواد العضوية من مياه الصـــرف إلا أن تطبيق استخدامه فى إزالة المعادن الثقيلة حديث جدا، يتم التصاق مياه الصــــرف المحتوية على المعادن المذابة مع الكربون المنشط حتى يتم إستنفاذ كــل إمكانيـــات الكربون فى الإدمصاص وعندئذ يتم إستبدال الكربون بكربـــون جديـــد أو كربـــون منشط.

الإدمصاص بالخث: (Peat Adsorbtion)

الخث هو نسيج نباتى شبه متفحم يتكون نتيجة تحلل النباتات تحللا جزئيا فـــى الماء ويستخدم فى الإدمصاص فى عمليـــات التلميـــع بعـــد الترســـيب التقليـــدى بالايدروكسيد والإستقرار، وخفض الرقم الهيدروجينى إلـــى ٦-٨. المتبقـــى مـــن المعادن المذابة يمكن أن يمتز على الخث والذى يتم التخلص منـــه بـــالردم Land) (Filled حيثما كان ذلك مناسبا وذلك مع إستنفاذ إمكانية الإدمصاص. حرق الخـــث يمكن أن ينتج عنه تلوث للهواء. وقد أثبتت بعض التجارب أن هذه المعالجة أكـــثر تأثيراً فى حالة المحاليل المحتوية على ١ ملجرام/لتر أو أقل من المعدن.

الترويق بالمادة الماصة المذابة (Solible Sorbent Clarification)

الترويق بالمادة الماصة المذابة عملية خاصة حيث تستخدم كيماويـــات معينـــة ماصة والتى تذوب عند رقم هيدروجينى منخفض ولاتذوب عند رقم هيدروجينـــى مرتفع. يزاد الرقم الهيدروجينى لمياه الصرف المحتوية على المادة الماصة المذابـــة لترسيب الايدروكسيد. وعند الرقم الهيدروجينى المرتفع فإن المعادن المذابة المتبقية تمتص على المادة الماصة الغير مذابة عندئذ، حيث يســـبب ذلـــك ترســـيبها مـــع الايدروكسيدات. يمكن إستعادة المادة الماصـــة بإضافـــة الحـــامض إلـــى الحمـــأة

(Acidifying) بما يذيب المادة الماصة عند الرقم الهيدروجيني المنخفض. وقد تم عمل تجارب للعملية حققت إزالة للنحاس، النيكل، الزنك، الكادميوم إلى مستوى ٠,٠٢ إلى ٠,٠٥ ملجرام/لتر وللكروم ٠,١ ملجرام/لتر.

إكزانثيت النشا الغير مذاب (Inolible Starch Xanthate)

هذه العملية مؤثره على مياه الصرف ذات تركيزات المعدن أقل من ١٠ ملجرام/لتر. يضاف إكزانثيت النشا غير المذاب إلى مياه الصرف ويفضل عند رقم هيدروجيني ٧ حيث تستبدل أيونات الصوديوم الخاصة بها مع أيونات المعادن الثقيلة في المحلول. حبيبات معدن إكزانثيت النشا يمكن إزالتها بعمل فصل المواد الصلبة العادية.

عمليات الأغشية: (Membrane Processes)

الترشيح الفائق (Ultra Filteration)

الترشيح الفائق هو أحد عمليات الفصل الغشائي. وهو أساسا عملية تركيز حيث يلزم لدفع السائل خلال الغشاء توفير قدر كبير من طاقة الضخ بما يعمل على حجز الجسيمات كبيرة الحجم (ذات الوزن الجزئي من ١٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠ أو أكثر) وهذه الجسيمات كبيرة الحجم تظل مركزه في الجزء من السائل الذى لم يمر خلال الغشاء. وهذه العملية لها إستخدامات هامة في تدوير مياه الصرف المحتوية على المعادن وعلى منظفات أو بويات قلوية. والنتيجة النهائية هي تقليل تركيز المعدن في مياه الصرف المنصرف.

التناضح العكسي: (Reverse Osmosis)

التناضح العكسي هو كذلك عملية غشائية ولكنها تعمل على زيادة تركيز المواد المذابة في المحاليل المخففة. كلا من حجم الأيون وشحنته يؤثر على الجزء الذى

يمر خلال الغشاء، ولذا فإنه لاتتم عملية فصل نهائية عـــادة. أيـــون الـــهيدروجين الصغير ذو الشحنة الواحدة يمر بسرعة خلال الغشاء الأيونات المعدنية الكبيرة التى تحمل شحنة موجبة أعلا (مثل النيكل، الزنك، النحاس، الزرنيخ، الكادميوم) لاتمـــر خلال الغشاء بنفس الحرية التى تمر بها الأيونات ذات الشحنة الموجبة الأقل (مثـــل الصوديوم والبوتاسيوم). لدفع السائل خلال الغشاء من السائل الأقـــل تركـــيز إلـــى الأكثر تركيز فإن ذلك يتطلب طاقة ضخ كبيرة، حيث أن الضغط المطلوب يجب أن يزيد عن الضغط الأسموزى. هذا النظام لايستخدم عادة فى حالات الصرف الكلـــى. وقد استخدم فى مجال ترسيب المعادن للتحكم فى النيكل فى صرف المياه المحملـــة بالنيكل من مياه صرف الطلاء المعدنى. رغم أن التناضح العكسى يقلل من كميـــة الصرف إلا أنه يجب أن يتوفر نظام التخلص الجزئى من المياه (Blowdown) مـــن محلول المواد المذابة فى حالة الطلاء المعدنى والتى قد تتداخل وتؤثر علـــى الأداء الجيد للترسيب المعدنى فى حوض الطلاء المعدنى (Plating Bath). ملحق (هـــ).

الفصل الثامن

طرق المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعى

١- مبادئ الأكسدة البيولوجية:

تزال المواد العضوية من مياه الصرف فى عملية المعالجة البيولوجية بواحدة أو أكثر من طرق الإزالة وهى الإدمصاص، الكسح الهواء، التحلل البيولوجي فى حالة الإدمصاص حيث يحدث هذا الإدمصاص للمواد العضوية على المواد الصلبة العالقة والتى تزال ضمن الحمأة المرسبة. وفى حالة الكسح الهوائى فإن ذلك يحدث للمواد العضوية الكربونية المتطايرة (VOC) يتم كسحها بالهواء فى عمليات المعالجة البيولوجية فى المرشحات البيولوجية، بالمعالجة بالحمأة المنشطة، وكذلك فى البرك المهواه. ولكن العامل الأكبر والأهم فى إزالة المواد العضوية من مياه الصرف هو الأكسدة البيولوجية (أو التحلل البيولوجى).

التحلل البيولوجى للمواد العضوية (Biodegradation)

عند إزالة المادة العضوية من مياه الصرف بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تحدث ظاهرتين أساسيتين وهما إستهلاك الأكسجين بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لتوفير الطاقة وتكوين خلايا جديدة. الكائنات الدقيقة كذلك يحدث لها أكسدة ذاتية فى الخلية. هذه التفاعلات يمكن توضيحها بالمعادلات التالية:

* الكائنات الدقيقة + $^{K}N + P + a` O_2$ = خلية جديدة $a + H_2o + CO_2$ + مواد صلبة مذابة لاتتحلل
معادلة (١)

* خلايا + $b'o_2$ ⟵ $N + P + H_2o + Co_2$ + بقايا خلايا لاتتحلل بيولوجيا. معادلة (٢)

من المهم بالنسبة للتصميم والتشغيل لمحطات معالجة مياه الصرف معرفة معدل هذه التفاعلات ومتطلبات الأكسجين ومواد الغذاء وكذلك كمية الحمأة المنتجة.

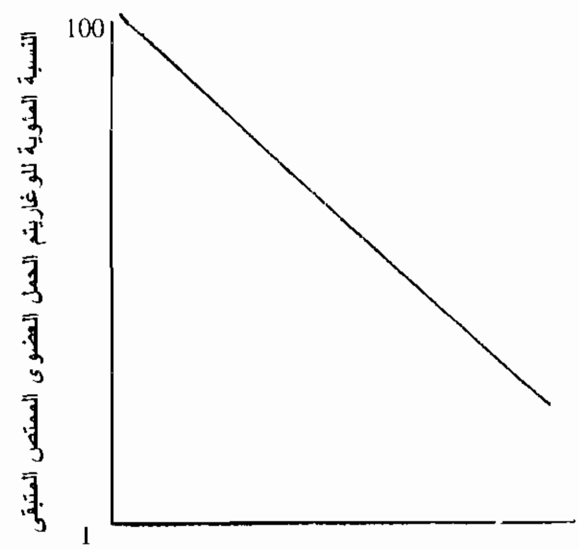
فى المعادلة (١) K هى معامل المعدل وهى دلالة للتحلل البيولوجى للمواد العضوية فى مياه الصرف. المعامل `a هو الجزء من المواد العضوية المزال والذى تأكسد إلى منتج نهائى للطاقة والمعامل a هو الجزء من المواد العضوية المزالة لتخليق كتلة الخلايا، المعامل b هو الجزء فى اليوم من الكتلة البيولوجية المتحللة والمؤكسدة، المعامل 'b هو الأكسجين المطلوب لهذه الأكسدة. جزء صغير من المواد العضوية المزالة فى المعادلة (١) يظل كمادة غير قابلة للتحلل البيولوجى حيث يظهر مع المياه المعالجة فى حالة TOC، COD وليس BOD وجزء من كتلة الخلايا المختلفة فى المعادلة (١) يظل كمتبقى ولايتحلل بيولوجيا. لتصميم أو تشغيل وحدة معالجة بيولوجية، الهدف الأول هو لعمل الإتزان بين المعادلة (١)، المعادلة (٢) لمياه الصرف المطلوب معالجتها. حيث أن معظم الإزالة للمواد العضوية تتم بالأكسدة البيولوجية.

إزالة الحمل العضوى (BOD) من مياه الصرف بالأكسدة البيولوجية (الحمأة المنشطة) يحدث على مرحلتين – فى المرحلة الأولى تحدث إزالة عالية للمواد الهلامية العالقة والمواد العضوية المذابة القابلة للتحلل البيولوجى تليها إزالة بطيئة للمتبقى من المواد العضوية المذابة. الإزالة الأولية للحمل العضوى BOD تتم بواحدة أو أكثر من الأساليب الآتية:

- إزالة المواد العالقة الملتصق بها زغبات بيولوجية وتتم بسرعة.

- إزالة المواد الهلامية بالإدمصاص على سطح الزغبات البيولوجيى.
- الامتصاص البيولوجيى للمواد العضوية المذابة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

ظاهرة الامتصاص البيولوجى تتعلق بحمل الزغبات فى زمن التصاق ١٠-١٥ دقيقة. وهذه العلاقة بين حمل الزغب وإزالة المواد العضوية موضحة فى الشكل (٨/١).



شكل (٨/١) علاقة الامتصاص البيولوجى للمخلفات المذابة القابلة للتحلل البيولوجى

هذه التفاعلات الثلاث تحدث فى الحال عند التصاق الحمأة بمياه الصرف. المواد الهلامية والعالقة يحدث لها تحلل تالى إلى جزيئات صغيرة لتكون مناسبة للخلية فى الأكسدة وكذلك فى البناء لخلايا جديدة. الزمن اللازم لذلك للنظام المتأقلم يتعلق بخواص المواد العضوية وتركيز الحمأة المنشطة فى حالة الخليط المعقد لمياه

الصرف حيث التركيز العالى للحمل العضوى القابل للتحلل البيولوجى (BOD)، فإن معدل تكون خلايا جديدة ليس له علاقة بالتركيز طالما كل العوامل متاحة، ونتيجة لذلك يحدث نمو للخلايا بصفة مستمرة وبأقصى معدل. مع استمرار التهوية ومع إنخفاض تركيز الحمل العضوى (BOD) فإن المواد التى تزال بسرعة تستنفذ ومعدل النمو ينخفض.

٢- المعالجة البيولوجية الهوائية واللاهوائية:

<u>أ- البحيرات الضحلة وأحواض التثبيت: (Lagoons and Stabilization Basin)</u>

الطريقة المتبعة لمعالجة مياه الصرف العضوية هى باستخدام أحواض التثبيت وذلك فى حالة توفر الأرض. تنقسم أحواض التثبيت إلى قسمين وهما بحيرات الحجز والجمع (Impounding) والامتصاص، أحواض الرياح والتدفق (Flow Through). فى حالة بحيرات أو أحواض الحجز والامتصاص إما أن لايكون هناك تدفق أو أن يكون الصرف عليها خلال فترات التدفقات العالية. الطاقة الحجمية للحوض تساوى كل تدفقات مياه الصرف ناقص الفقد بالبخر والتسرب. فى حالة وجود صرف متقطع، فإن الطاقة المطلوبة ترتبط بخواص التدفقات. نظراً لكبر المساحة المطلوبة فإن برك الحجز تستخدم فقط فى صرف الصناعات ذات الحجم اليومى القليل من المخلفات أو لصرف الصناعات الموسمية مثل صناعة حفظ وتعليب الأغذية.

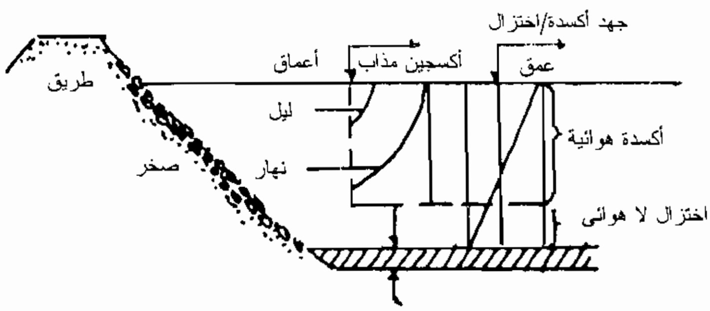
أما أحواض التدفق المستمر فيمكن أن تنقسم إلى ثلاثة أنواع، وذلك طبقاً لطبيعة النشاط البيولوجى.

- النوع رقم (١):

ب- البرك الإختيارية: (Facultative Ponds) شكل (٨/٢)

البرك الإختيارية تنقسم بالتحميل والطبقات الحرارية إلى سطح هوائى وقاع غير هوائى. طبقة السطح الهوائى يحدث لها تغير مستمر يوميا، حيث يزداد المحتوى من الاكسجين أثناء ساعات النهار بسبب التمثيل الضوئى للطحالب ثم ينخفض الأكسجين أثناء الليل.

الحمأة التى ترسب فى القاع يحدث لها تحلل لاهوائى، منتجة غاز الميثان وغازات أخرى. تظهر روائح كريهة فى حالة عدم استمرار الطبقة الهوائية تتراوح الأعماق من ٣ إلى ٦ قدم (٠,٩ إلى ١,٨ متر). حيث أن إنتاج الأكسجين بالتمثيل الضوئى يتوقف على إختراق الضوء فإن مياه الصرف الملونة مثل مياه صرف الصناعات النسيجية وصناعة الورق ولب الورق لايمكن معالجتها بهذه التقنية.



شكل (٨/٢) حوض تثبيت المخلفات بالطريقة الاختيارية Facultative

- **النوع رقم (٢)**

جـ- البرك اللاهوائية: (Anaerobic Ponds)

البرك اللاهوائية يتم تحميلها إلى درجة وجود حالة لاهوائية خلال حجم السائل. العملية البيولوجية تشبه تلك التى تحدث فى خزان الهضم اللاهوائى، حيث يتكون أولا حامض عضوى يليه تخمر الميثان. يصمم عمق البرك اللاهوائية لتوفير أقل مساحة سطحية بالنسبة للحجم وبذا يتوفر أقصى محافظة على الحرارة.

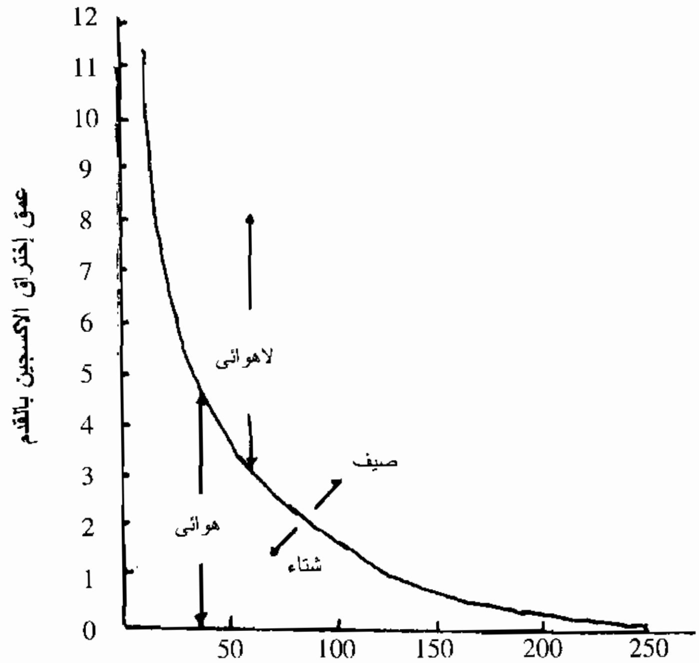
- **النوع رقم (٣)**

د- البحيرات المهواه (Aerated Lagoons)

وهذا تتراوح مدة المكث فيها لمياه الصرف ما بين عدة أيام إلى أسبوعين وذلك طبقاً لدرجة الإزالة للحمل العضوى (BOD) المطلوبة. يتم توفير الأكسجين بنظم التهوية الميكانيكية أو ببثق الهواء (Diffused)، والذى يوفر كذلك الخلط الجيد بيما يوفر كمية كبيرة من التهوية السطحية. يتراوح العمق ما بين ٦ إلى ١٥ قدم (١,٨ إلى ٤,٦ متر).

هـ- استخدام بحيرات (برك) التدفق المستمر: (Lagoons)

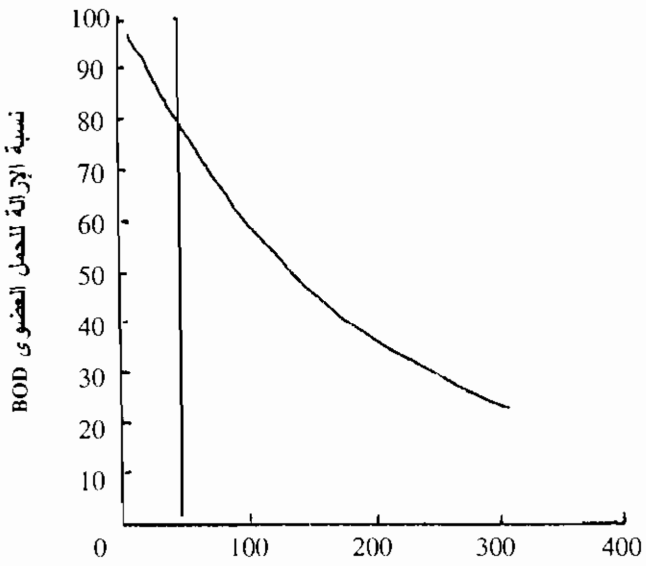
فى بعض التطبيقات الصناعية استخدمت البرك المهواه بعد البرك اللاهوائية لتوفير درجة عالية من المعالجة. كما استخدمت أحواض التثبيت لتلميع المياه المعالجة بنظم المعالجة البيولوجية التقليدية مثل المرشحات الزلطية والحمأة المنشطة. عمق إختراق الأكسجين فى البرك الاختيارية قدر بدلالة التحميل السطحى كما فى الشكل (٨/٣).



شكل (٨/٣) عمق إختراق الاكسجين فى الحوض الاختيارى

فى حالة زيادة العكارة وشدة اللون لمياه الصرف كما فى حالة ميـــاه صـــرف صناعة الورق ولب الورق، فإن إختراق الضوء سيكون عند أدناه، وأن الحصـــول على الأكسجين سيكون من التهوية السطحية أساسا، وأن كفاءة أحواض التثبيت فـى هذه الحالة كما هو موضع فى الشكل (٨/٤). بعض الاعتبارات التصميمية هامـــة للأداء الجيد لحوض التثبيت. حيث تكون الجسور (السدود) من مادة مانعـــة لنفـاذ المياه بميل أقصاه ٣ إلى ٤ : ١ وأدناه ٦ : ١. أدنى عمق للمياه (Free board) تتـم المحافظة عليه فى البحيرة هو ٣ قدم (٠,٩١ متر). يجب عمل إجــــراءات حمايـة الأجناب من التدمير والتلف. يعتبر أداء الرياح هام لتوفير الخلط فى البحيرة حيــث يتطلب تجهيزه لجذب الرياح فى البحيرة ذات ٦٥٠ قدم (١٩٨ متر) وعمق ٣ قــدم (٠,٩١ متر). تم معالجة مياه الصرف من صناعة وتعبئة اللحـــوم فـى أحـواض

هوائية ضحلة بعمق (٠,٦٦ متر) وبأحمال عضوية ١٧٥ ملجرام/لتر بعد الترسيب، وكان الخفض بنسبة ٩٦% فى الصيف، ٧٠% فى الشتاء، حيث معدل التحميل ٠,٠٢٤ كجرام BOD / المتر المربع فى اليوم. لزيادة كفاءة عمليات البحيرات فإنه يجب إضافة الفوسفور والنيتروجين لمياه الصرف الخالية من هذه المركبات.



شكل (٨/٤) كفاءة حوض التثبيت فى صناعة الورق ولب الورق

الأحواض (البحيرات أو البرك) التى تعالج مخلفات فى الظروف الهوائية ولم يتم صيانتها من آن إلى آخر فإنها تنتج روائح منفرة وتوفر مجال لتكاثر الحشرات. يمكن التخلص من مشكلة الرائحة بإضافة نترات الصوديوم بجرعة تعادل ٢٠% من الأكسجين الحيوى المستهلك. يمكن الرش السطحى لخفض مضايقات الحشوات والهوام وفى بعض الحالات الرائحة يمكن زيادة الكفاءة باستخدام أحواض لاهوائية تليها الأحواض الهوائية.

الحوض اللاهوائى بزمن مكث ٦ يوم وعمق ٤.٣ متر وتحميل ٠,٢٢٤ كجرام/المتر المربع فى اليوم يليه حوض هوائى بعمق ٠,٩ متر مع زمن مكث ١٩ يوم وتحميل ٠,٠٠٥٦ كجرام/المتر المربع فى اليوم حقق خفض كلى فى الأحمال العضوية (BOD) من ١١٠٠ ملجرام/لتر إلى ٦٧ ملجرام/لتر.

بيانات الكفاءة للأحواض المهواه، الإختيارية، اللاهوائية موضحة بالنسبة لصرف مختلف الصناعات.

ملخص لمتوسط البيانات للأحواض المهواه والاختيارية

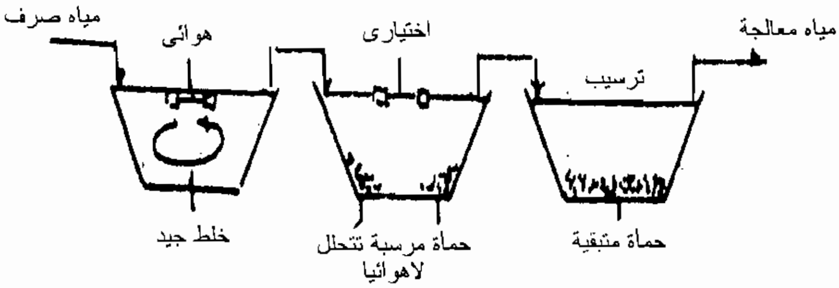
الصناعة	المساحة بالهكتار	العمق بالقدم	التحميل رطل/هكتار يوم	نسبة إزالة الحمل العضوى	زمن المكث
اللحوم والدواجن	١,٤	٣	٧٢	٧٢	٧ يوم
حفظ الأغذية	٦,٩	٥,٨	١٣٩	٩٨	٣٧,٥
الصناعات الكيماوية	٣١	٥	١٥٧	٨٧	١٠
الورقية	٨٤	٥	١٠٥	٨٠	٣٠
البترولية	١٥.٥	٥	٢٨	٧٦	٢٥
المخبوزات	٧,٥	٥	٢٢	٩٥	٩٨
المنسوجات	٣,١	٤	١٦٥	٤٥	١٤
المغاسل	٠,٢	٣	٥٢		٩٤
ملخص لمتوسط البيانات للأحواض اللاهوائية					
حفظ الأغذية	٢,٥	٦	٣٩٢	٥١	١٥
اللحوم والدواجن	١	٧,٣	١٢٦	٨٠	١٦
الكيماوية	٠,١٤	٣,٥	٥٤	٨٩	٦٥
المنسوجات	٢.٢	٥,٨	١٤٣٣	٤٤	٣,٥
الورقية	٧	٦	٣٤٧	٥٠	١٨,٤
السكر	٣٥	٧	٢٤٠	٦١	٥٠
الجلود	٢,٦	٤,٢	٣٠٠٠	٦٨	٦,٢

الصناعة	المساحة بالهكتار	العمق بالقدم	التحميل رطل/هكتار يوم	نسبة إزالة الحمل العضوى	زمن المكث
ملخص لمتوسط البيانات للأحواض الهوائية واللاهوائية					
حفظ الأغذية	٥.٥	٥	٦١٧	٩١	٢٢
اللحوم والدواجن	٠,٨	٤	٢٦٧	٩٤	٤٣
الورق	٢٥٢٠	٥,٥	٢٨	٩٤	١٣٦
الجلود	٤,٦	٤	٥٠	٩٢	١٥٢
صناعات أخرى	١٤٠	٤,١	١٢٨		٦٦

٣- *الأحواض المهواه: (Aerated Lagoons)*

الأحواض المهواه هى أحواض بعمق ٢,٤ إلى ٤,٩ متر حيث يتم توفير الأكسجين بالتهوية الميكانيكية أو بالبثق من خلال التهوية السطحية. يوجد نوعين من الأحواض المهواة:

- حوض التهوية حيث يكون الأكسجين المذاب والمواد الصلبة العالقة متجانسة خلال الحوض.
- الحوض الهوائى – اللاهوائى أو الاختيارى حيث يتوفر الأكسجين فى طبقة السطح العلوى للسائل فى الحوض، مع وجود جزء صغير من المواد الصلبة عالق. الأحواض المهواة كما فى الشكل (٨/٥). فى حوض التهوية تظل كل المواد الصلبة عالقة حيث يشبه حوض التهوية بالتدفق المستمر للحمأة المنشطة بدون تدوير المواد الصلبة. ولذلك فإن المياه المنتجة تحتوى على تركيزات المواد الصلبة العالقة تساوى تلك الموجودة فى حوض التهوية.



شكل (٥/٨) أنواع أحواض التهوية

فى الحوض الاختيارى، جزء من المواد الصلبة العالقة يرسب إلى القاع حيث يحدث له تحلل لاهوائى. المنتجات اللاهوائية يتم أكسدتها فى الطبقات العليا الهوائية للسائل فى الحوض. يمكن تحسين الحوض الاختيارى لإنتاج مياه رائقة جدا بتوفير حوض ترسب نهائى أو حجرة ترسيب مجهزة بالعوائق. الأحواض المهواه والاختيارى (المختلط) تختلف فى الطاقة المستخدمة فى الحوض. ففى الأحواض المهواة، يكون مستوى الطاقة عالى ليمكن من استمرار المواد الصلبة عالقة ويمكن أن يتراوح ما بين ١٤ إلى ٢٠ حصان لكل مليون جالون (٢,٨ إلى ٣,٩ وات/المتر المكعب) من حجم الحوض، أظهرت الدراسات الحقلية أن ١٤ حصان لكل مليون جالون (٢,٨ وات للمتر المكعب) كان كافيا للمحافظة على استمرار المواد الصلبة عالقة فى تدفقات مياه الصرف صناعة الورق، بينما يكون المطلوب ٢٠ حصان لكل مليون جالون (٣,٩ وات للمتر المكعب) فى حالة معالجة مياه الصرف الصحى.

فى حالة الأحواض الإختيارية يكون مستوى الطاقة المطلوب بما يكفى فقط لانتشار وخلط الأكسجين المذاب. لقد أظهرت الخبرة فى صناعة الورق ولب الورق أن أدنى مستوى للطاقة باستخدام أجهزة تهوية ميكانيكية سطحية هو ٤ حصان لكل مليون جالون (٠,٧٩ وات لكل متر مكعب). استخدام أنواع أخرى من معدات التهوية قد يتطلب مستويات مختلفة من الطاقة للمحافظة على تجانس الأكسجين المذاب فى الحوض.

أثر الحرارة فى الأحواض المهواه

كفاءة حوض التهوية تتأثر إلى حد كبير بالتغيرات فى درجة الحرارة ولذلك فإن درجة حرارة الحوض تتأثر بدرجة حرارة مياه الصرف الداخلة ودرجة حرارة الجو المحيط. رغم أن الحرارة تفقد بالبخر، والإشعاعات إلا أنها تكتسب بأشعاعات الشمس. المعادلة الآتية تستخدم عادة لتوفير التقدير المناسب لأغراض التصميم الهندسى.

$$\frac{t}{D} = \frac{Ti - Tw}{F\,(Tw - To)}$$

حيث:

t = زمن المكث فى الحوض باليوم.

D = عمق الحوض بالقدم.

Ti = درجة حرارة المياه الداخلة فهرنهيت.

Ta = متوسط درجة حرارة الهواء فهرنهيت، عادة تكون متوسط درجة الحرارة الأسبوعية.

Tw = درجة حرارة الحوض فهرنهيت.

نظم الأحواض المهواة: Aerated Lagoon System

فى ظروف الاستخدام المناسبة تستخدم عدة أحواض مهواه، على التوالى. عند الأخذ فى الاعتبار الميزان الحرارى يمكن استخدام حوضين على التوالى. فى الحوض الأول يكون الحجم أقل ما يمكن للمحافظة على درجة الحرارة العالية، المستوى العالى من المواد البيولوجية الصلبة، بما ينتج عنه معدل عالى لتفاعل الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) فى حوض التحلل الهوائى (Aerobic Lagoon). الحوض الثانى هو حوض إختيارى (Facultative) حيث طاقة الخلط منخفضة والتى

تسمح بترسيب المواد الصلبة وتحللها فى قاع الحوض. عند الرغبة فى خفض المواد الصلبة العالقة يستخدم حوض ترسيب نهائى والذى يلزم أن يتوفر فيه الآتى:

- زمن المكث الكافى لترسيب المواد الصلبة العالقة.
- الحجم المناسب لاحتواء الحمأة.
- أدنى نمو للطحالب.
- أدنى رائحة كريهة من الأنشطة اللاهوائية.

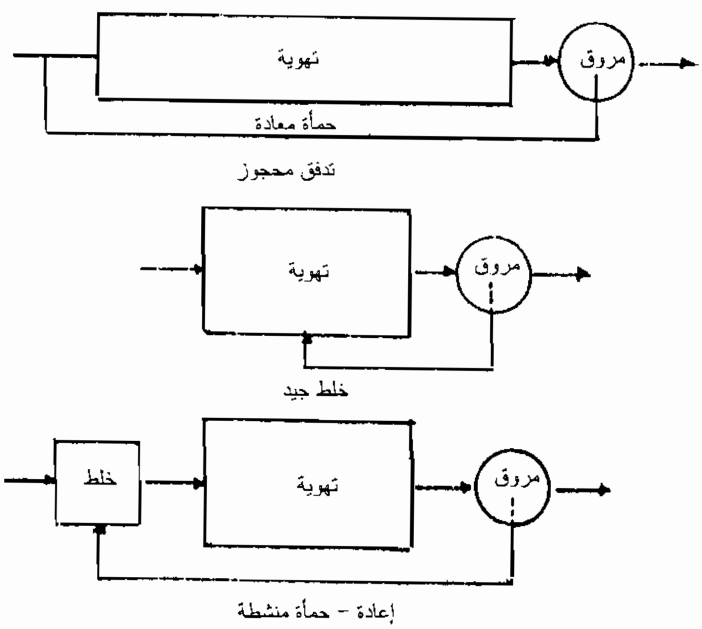
ولكن هذه الأهداف التصميمية يصعب تحقيقها دائما. أحيانا يكون المناسب هو زمن المكث القصير للحد من نمو الطحالب والذى يعد قصيرا بالنسبة للترسيب. كذلك فإن الحجم المناسب يجب أن يوفر الاستمرار فوق رواسب الحمأة فى كل الأوقات لمنع هروب الغازات الكريهة الناتجة عن التحلل. ولتحقيق هذه الأغراض، فإن يوم واحد من زمن المكث كافى لترسيب معظم المواد الصلبة العالقة القابلة للترسيب. عند وجود مشاكل بالنسبة لنمو الطحالب فإنه يوصى أن يكون أقصى زمن مكث ٣-٤ يوم. لمنع صعود الروائح المنفرة فإنه يجب المحافظة على أدنى منسوب للمياه فوق طبقة الحمأة بـ ٣ قدم (٠,٩ متر) فى جميع الأوقات.

٤- عمليات الحمأة المنشطة: (Activated Sludge Process)

تعريف بالحمأة المنشطة: (Activated Sludge)

الحمأة المنشطة عبارة عن مواد عالقة (Suspension) من الكائنات الحية الدقيقة النشطة والميتة فى مياه الصرف المحتوية على مواد عضوية وغير عضوية المحتجزة والهلامية العالقة. عملية الحمأة المنشطة هى عملية هوائية (Aerobic)، بيولوجية حيث تستخدم تفاعلات بناء وتآكل الخلايا الحية (Metabolism) للكائنات الحية الدقيقة لتوفير نوعية مياه معالجة مناسبة بإزالة المواد المستهلكة للأكسجين.

طريقة المعالجة هذه تعتبر عملية معالجة ثنائية والتى تلى أحواض الترسيب الأولى. ولكن طبقا لنوع مياه الصرف فإن أحواض الترسيب الأولى يمكن عدم اســـتخدامها فى عملية الحمأة المنشطة شكل (٨/٥) تدخل مياه الصرف حوض المفاعل حيـــث تضاف حبيبات الزغب البكتيرية السابق تكوينها وتلتصق مع المكونـــات العضويـــة لمياه الصرف. المادة العضوية تعمل كمصدر للكربـــون وللطاقـــة لنمـــو البكتريـــا وتتحول إلى نسيج خلية بكتيرية وتواتج أكسدة نهائية (أساسا ثانى أكسيد الكربـــون). محتويات حوض المفاعل تسمى المواد الصلبة العالقة للسائل المخلـــوط (MLSS - Mixed Liquor Suspended Solids) وقد تسمى المواد الصلبة العالقـــة المتطـــايرة للســـائل المخلـــوط (MLVSS). (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids) وتتكون معظمها من الكائنات الحية الدقيقة ومواد عالقة خاملة وغير قابلـــة للتحلـــل البيولوجى (Non. Biodegradable).



شكل (٨/٥) أنواع عمليات الحمأه المنشطة المعادة

تتكون الكائنات الحية الدقيقة عموما من ٧٠-٩٠% من مواد عضوية، من ١٠-٣٠% مواد غير عضوية. تركيب الخلايا يختلف طبقا للمكونات الكيماوية لمياه الصرف، بالإضافة إلى الخصائص المحددة للكائنات الدقيقة فى الكتلة البيولوجية. مكونات الجزء العضوى من الخلايا للحمأة المنشطة إتفق على تمثيله بالمعادلة ($C_5 H_7 O_2 N P_{0.2}$) الجزء الغير عضوى من نسيج الخلية وجد أنه كالآتى:

٥% فوسفور مقيم $P_2 O_5$

٦% كالسيوم مقيم $K_2 O$

١١% نيتروجين مقيم $N_2 O$

٨% مغنيسيوم مقيم $Mg O$

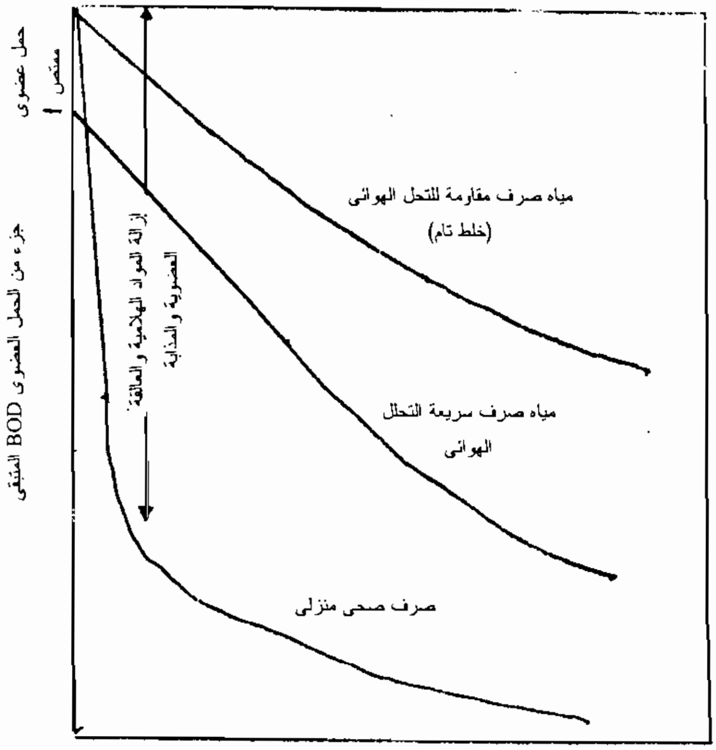
٩% كالسيوم مقيم $Ca O$

١٥% كبريت مقيم $S O_3$

١% حديد مقيم $Fe_2 O_3$

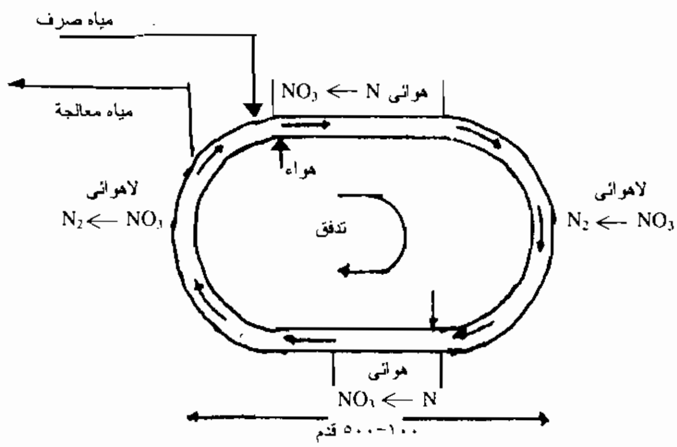
عند صرف مياه الصرف (MLSS) من حوض التفاعل يتم فصل السائل المخلوط المحمل بالمواد الصلبة العالقة باستخدام أحواض الترسيب بالجاذبية.

الغرض من عملية الحمأة المنشطة هو لإزالة المواد العضوية المذابة وغير المذابة من تدفقات مياه الصرف وتحويل هذه المواد إلى زغبات بكتيرية عالقة سريعة الترسيب حيث يتم فصلها بعملية الفصل بالجاذبية العادية. توجد أشكال مختلفة لنظم المعالجة بالحمأة المنشطة، ولكن المخطط العادى لمعالجة مياه الصرف هو الموضع فى الشكل (٨/٦). الشكل (٨/٧) يوضح أنواع التفاعل التى سوف تحدث وبالتالى عمليات المعالجة.



الوقت – المواد المتطايرة العالقة فى السائل المخلوط (MLVSS)

شكل (٨/٧) حفرة الأكسدة بالنترجه وإزالة النترجة



شكل (٨/٧) حفرة الأكسدة بالنترجه وإزالة النترجة

الحمأة المنشطة بالتدفق المضغوط: (Plug Flow Activated Sludge)

فى عملية الحمأة المنشط بالتدفق المضغوط تستخدم أحواض طويلـــة وضيقـــة لتوفير نظام الخلط والذى يقترب من التدفق المضغوط. يتم خلط مياه الصرف مـــع الكائنات البيولوجية فى ظروف هوائية. عندئذ يتم فصل الحمـــأة البيولوجيـــة فـــى تدفقات السائل فى المروق الثنائى. جزء من الحمأة البيولوجية يتم التخلـــص منـــه والباقى يعود إلى مدخل حوض التهوية مع مياه الصرف الداخلة. معـــدل وتركـــيز الحمأة المنشطة المعادة إلى حوض التهوية هو الذى يحدد تركيز المواد العالقة فـــى السائل المخلوط (Mixed Liquor Suspended Solid Concentration)) (MLSS). نظام التدفق المضغوط أو المحجوز يساعد على نمو وتكاثر تكون الزغبـــات مـــن الحمأة القابلة للترسيب الجيد. فى حالة وجود مواد سامة أو مواد عضوية مثبطة فى مياه الصرف فإنه يجب إزالتها أو تسويتها قبل الدخول إلى حوض التهوية. معـــدل إستخدام الاكسجين مرتفع فى بداية حوض التهوية وينخفض مع زمن التهوية. عنـــد الوصول إلى تمام المعالجة، فإن معدل إستخدام الاكسجين يقترب من مستوى النمـــو الباطنى (Endogenous) فى إتجاه نهاية حوض التهوية. تطوير الطريقة التـــى بـــها يلتصق كلا من مياه الصرف والحمأة المعادة فى نظام التدفق المسدود لـــــه فوائـــد كثيرة. توفير منطقة منفصلة فى المدخل ذات حجم يساوى حوالى ١٥% من حجـــم حوض التهوية الكلى، جنبا إلى جنب مع تقليب ميكانيكى سطحى بطاقة منخفضـــــة يمكن أن يوفر ظروف الحد من نقص الأكسجين بما يحقق توفير الأكسجين الحيـــوى من الحمأة المعادة والنترات التى يتم تغذيتها إلى الحوض. فى حالة حدوث النترجـــة (Nitrification)، فإن إعادة السائل المخلوط المحتوى على النترات من نهاية حوض التهوية يمكن أن يحقق إزالة جيدة للنترجة.

الحمأة المنشطة تامة الخلط: (Complete Mixed Activated Sludge)

لتحقيق الخلط التام فى حوض التهوية فإن ذلك يتطلب الإختيار السليم للشـــكل الهندسى للحوض، ولنظام التغذية، ومعدات التهوية. خلال اســتخدام الخلــط التــام باستخدام البثق الهوائى أو التهوية الميكانيكية، فإنه يمكن توفير ثبـــات الأكســجين الحيوى المطلوب وكذلك تجانس التركيز للمواد الصلبة فى السائل المخلوط خـــلال حجم الحوض. الصدمات الهيدروليكية والعضوية العابرة تقل فى هذه النظــم، بمــا يوفر طريقة مقاومة للتلف بفعل صدمات التحميل. يتم دخول كلا من مياه الصـــرف والحمأة المعادة إلى حوض التهوية فى نقط مختلفة. يلاحظ أن مياه الصـــــرف ذات التحلل العضوى السريع مثل مياه صرف الصناعات الغذائية تميــل إلـــى الإنتفـــاخ وتكون عصوية فى نظام الخلط التام.

يمكن خفض هذه الحالة بإضافة منطقة التصاق مسبقة لتوفير مستوى عـــــالى مـــن الخليط إلى السائل المخلوط المعاد. منطقة الإلتصاق المسبق يجب أن يتوفـــر فيـــها زمن مكث حوالى ١٥ دقيقة لتعظيم الامتصاص البيولوجى. بالمقارنـــة فـــإن ميـــاه الصرف ذات الكيماويات المعقدة لاتساعد على نمو البكتريا العضويـــة حيــث تتــم عمليات الخلط التام بكفاءة. مياه الصرف ذات الرقم الهيدروجينى القلوى تعالج جيدا نظرا لأن ثانى أكسيد الكربون المنتج يعادل القلوية. كذلك فإن مياه الصـــــرف ذات الرقم الهيدروجينى المنخفض والمحتوية على أحماض عضوية يمكن معالجتها بدون إضافة كيماويات تعادل خارجية.

التهوية الممتدة: (Extended Aeration)

فى هذه العملية ينخفض الفقد فى الحمأة. وينتج عن ذلك معدلات نمو بطيئـــة، إنتاج منخفض من الحمأة، إحتياجات عالية نسبيا من الأكسجين مقارنـــة بعمليـــات الحمأة المنشطة التقليدية. المياه المعالجة تكون ذات نوعية عالية مع إنتاج قليل مـــن الحمأة. التهوية الممتدة هى تدفق محجوز أو خلط كامل وهو صفة تفاعل وليســـت

صفة هيدروليكية. القواعد التصميمية تشمل النسبة ما بين الغذاء (المواد العضوية) إلى الكائنات الدقيقة (F / M) لتكون من ٠,٠٥ إلى ٠,١٥، عمر الحمأة ١٥ إلى ٣٥ يوم، تركيز المواد العالقة فى السائل المخلوط ٣٠٠٠ - ٥٠٠٠ ملجرام/لتر. عملية التهوية الممتدة حساسة للزيادة المفاجئة فى التدفق بسبب الزيادة المفاجئة فى أحمال السائل المخلوط بالمواد الصلبة العالقة (MLSS) على المروق النهائى، ولكن غير حساسة نسبيا لصدمات التحميل فى التركيز بسبب تأثير الدرئ للحجم الكبير للكتلة البيولوجية (Biomass). يمكن أن تتم التهوية الممتدة فى عدد من الأشكال منها الشكل الدائرى أو الحلقى. فى هذه الطريقة تستمر التهوية للخليط مدة تتراوح من ٣-٦ ساعات كما يمكن الاستغناء فى هذه الطريقة عن حوض الترسيب الابتدائى.

نظام حفرة الأكسدة: (Oxidation Ditch Systems)

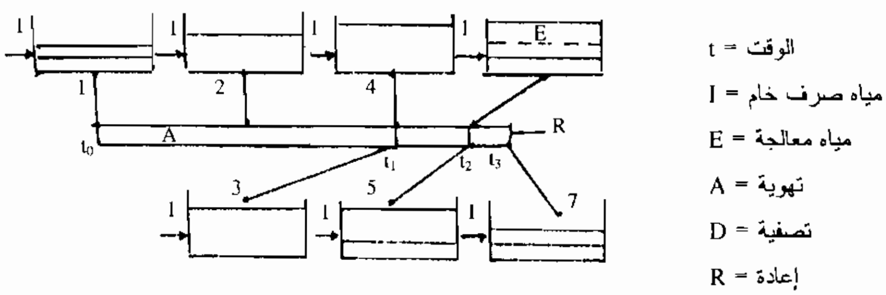
يستخدم حاليا عدد من المفاعلات الحلقية أو نظام الحفر. فى نظام الحفر يكون من الضرورى مطابقة الشكل الهندسى للحوض مع أداء معدة التهوية لتوفير سرعة مناسبة فى القناة لنقل السائل المخلوط بالمواد الصلبة. العامل الهام فى التصميم يرتبط بنوع التهوية التى يتم توفيرها. الطبيعى فى التصميم لسرعة وسط القناة لتكون ٠,٣ متر فى الثانية وذلك لمنع ترسيب المواد الصلبة. يستخدم نظام الحفرة عمليا فى حالات الرغبة من التخلص من كل من الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) وكذلك إزالة النيتروجين. كل من التفاعلين يمكن تحقيقه فى نفس الحوض وذلك بتغير المناطق الهوائية واللاهوائية كما هو موضح فى الشكل (٨/٧).

نظام التهوية المتقطع ونقل السائل من حوض إلى آخر:

Intermittently Aerated and Decanted System

فى هذا النظام يستخدم وعاء واحد لاحتواء كل العمليات التى تتم فى علميات المعالجة بالحمأة المنشطة التقليدية أى الترسيب الأولى، الأكسدة البيولوجية الترسيب الثنائى، هضم وتحلل الحمأة، هذا بالإضافة إلى النترجة وإمكانية إزالة النيتروجين

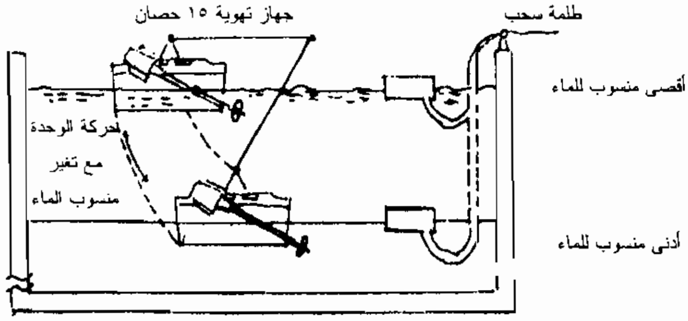
بدرجة جيدة. عند استخدام الإناء الواحد فإن هذه العمليات يتـــم ضبـــط توقيتاتـــها المتتالية ببساطة. الشكل (٨/٨) يوضح تسلسل العمل لنظام الحمأة المنشطة بالتهويـــــة المتقطعة ونقل السائل من حوض إلى آخر. كل مرحلة (t_0 - t_1 , t_1 - t_2, t_2 - t_3) مـــن الدورة (t_0 - t_5) يتم تشغيلها بجهاز تحكم ميقاتى. تبدأ دورة المعالجة بعد نهاية النقـــل للسائل من الدورة السابقة. تبدأ التهوية عند التوقيت (t_0) ويستمر حتى التوقيت (t_1)، حيث فى هذا الوقت تزيد مياه الصرف الداخلة من حجم السائل المخلوط للتهويـــــة. عند التوقيت (t_1) تتوقف التهوية ثم يليها مرحلة لاهوائية حيث يحدث ترســـيبات مـــن السائل المخلوط وبذلك تحدث عملية لاهوائية. بعد مرحلة الترسيب اللاهوائية (t_1 - t_2) يتم صرف السائل المعالج أثناء الفترة (t_2 - t_3)، مع تمام (t_3) يتم تكـــرار نفـــس الأداء. مراحل العمل يتم تطويرها لتوفير الأداء الجيد لعوامل محددة فـــى العمليـــة الرئيسية. فمثلا، دورة إزالة النيتروجين تتطلب تهوية كافية لتوفيرها لكـــل المـــواد الكربونية والأكسدة النيتروجينية فى خلال الفترة الزمنية (t_0 - t_1)، وكذلك الفترة (t_1 - t_3) يجب أن تكون مناسبة لاختزال النترات. الظاهرة الهامة لهذه المحطـــات هـــو قدرتها على قبول حالات تدفق عالى لمدة طويلة بدون الفقد فى الســـائل المخلـــوط بالمواد الصلبة. الطاقة الهيدروليكية للنظم التقليدية المستمرة تحدهـــا بطاقـــة الأداء لوحدة الترسيب الثنائية.



شكل (٨/٨) مخطط يوضح تسلسل التدفق المستمر للحمأة المنشطة المعادة

تجهيزه نقل المياه (Decanting Device) لهذه النظم توضع عند نهاية الحوض فى إتجاه معاكس للدخول. الهدار المتحرك يوضع خارج السائل المخلوط أثناء التهوية والترسيب. أثناء مراحل نقل السائل، يعمل مكبس هيدروليكى والذى يدفع حوض الهدار إلى طبقة السطح للحوض خلال القاع التصميمى لمنسوب المياه. بهذه الطريقة يتم كشط الطبقة السطحية للمياه المعالجة باستمرار أثناء مرحلة التفريغ ونقل المياه من الحوض حيث تصرف خارجة بالجاذبية خلال نظام التحميل لجهاز النقل والتفريغ (Decanter).

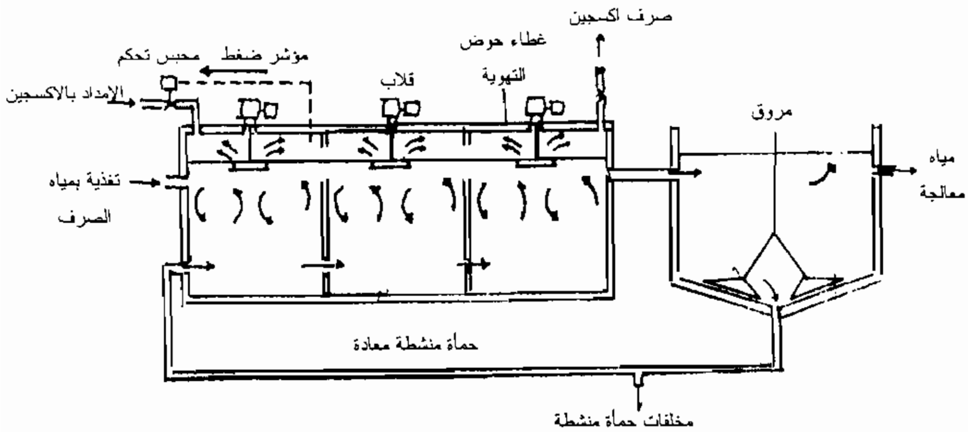
يمكن تصميم المحطات بمتوسط نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة F/M من ٠,٠٥ إلى ٠,٢ كجرام أكسجين حيوى (BOD) لكل كيلوجرام من السائل المخلوط بالمواد الصلبة (MLSS) فى اليوم. طبقا لنوع السائل المعالج عند قاع منسوب المياه تركيز المواد الصلبة العالقة حتى ٥٠٠٠ملجرام/لتر. الحمأة المنشطة على دفعات (Batch) تشبه للنظام المتقطع عدا أنها تستخدم عادة لمياه الصرف الصناعى عالية التركيز. تضاف مياه الصرف خلال فترة زمنية قصيرة لتوفير أقصى إمتصاص بيولوجى (Biosorbtion) ونمو لزغبات الحمأة. تستمر التهوية عندئذ حتى ٢٠ ساعة. يتم ترسيب السائل المخلوط عندئذ ونقل المياه المعالجة. نموذج لنظام الحمأة المنشطة بالدفعة الواحدة موضح فى الشكل (٨/٩).



شكل (٨/٩) نظام الحمأة المنشطة بالدفعات (Batch)

الحمأة المنشطة بالاكسجين: (Oxygen Activated Sludge)

نظام الأكسجين عالى النقاء عبارة عن مبادلات جيدة الخلط على التوالى مستخدمه إلتصاق مستمر للغاز مع السائل فى حوض تهوية مغطى، كما هو موضع فى الشكل (٨/١٠). إستخدمت هذه الطريقة فى معالجة مياه الصرف من صناعة الورق ولب الورق ومن الصناعات الكيماوية العضوية. يتم التغذية فى المرحلة الأولى بمياه الصرف المطلوب معالجتها والحمأة المعادة وغاز الأكسجين. التصاق الغاز مع السائل يمكن أن يستخدم أجهزة تهوية تربينية مغمورة أو أجهزة تهوية سطحية. يتم التغذية بغاز الاكسجين طبقا للضغط المطلوب مع إستمرار عمل الوحدة، كمقياس للتنفيس، يستخدم خط العادم من المرحلة الأخيرة لصرف الغاز عديم الرائحة إلى الجو. عادة يعمل النظام بطريقة إقتصادية عندما يكون غاز العادم يحتوى على حوالى ٥٠% أكسجين. طبقا لإعتبارات إقتصادية فإن حوالى ٩٠% من الأكسجين المستخدم يكون إنتاجه فى الموقع. يمكن إنتاج الأكسجين بالطريقة التقليدية بالتبريد لفصله من الهواء وذلك للمحطات الكبيرة (٢,٨ × ١٠^{٣} متر مكعب فى اليوم) أو بالإدمصاص المتأرجح بالضغط للمحطات الأصغر.



شكل (٨/١٠) مخطط لنظام الأكسجين بالثلاث مراحل

الطاقة المطلوبة لمعدة التهوية السطحية أو التربينية تتراوح ما بين ٠,٠٨ إلـــى ٠,١٤ حصان لكل ١٠٠٠ جالون (٠,٠٢٨ كيلوات / المتر المكعب). فى حـــالات الأحمال القصوى يصمم نظام الأكسجين للمحافظة على استمرار الأكسجين المــذاب فى السائل المخلوط بنسبة ٦ ملجرام/ لتر. حيث أن التركـــيز العـــالى للأكســـجين المذاب مستمر فى السائل المخلوط، فإن المحطة يمكن أن تعمل عند مستويات عالية لنسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M) (٠,٦ إلى ١) بدون حدوث مشاكل إنتفـــاخ عضوى. المحافظة على المزغبات الهوائية ذات سرعة ترسيب عالية يسمح كذلـــك بتركيزات عالية للسائل المخلوط بالمواد الصلبة العالقة (MLSS) فى حوض التهوية مستويات المواد الصلبة تتراوح عادة من ٤٠٠٠ إلى ٩٠٠٠ ملجرام/لـــتر حســـب الحمل العضوى لمياه الصرف (BOD).

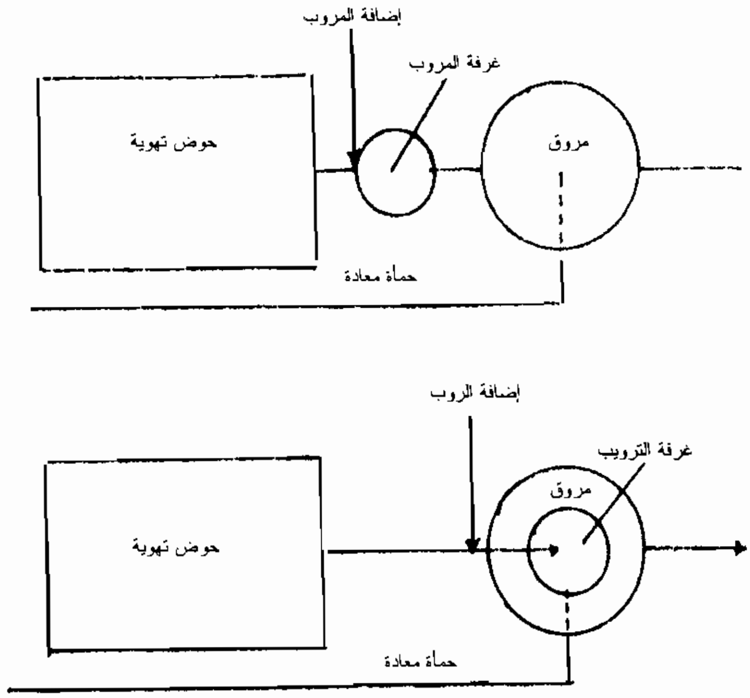
٥- معالجة مياه الصرف الصناعى فى محطات المعالجة بالحمأة المنشطة لميـــاه الصرف الصحى:

- مياه الصرف الصحى يكون معظم محتواها من المواد العضوية فـــى الشـــكل العالق أو الهلامى. عادة يكون الحمل العضوى (BOD) ٥٠% عـــالق، ١٠% هلامى، ٤٠% مذاب. بالمقارنة فإن معظم مياه الصـــرف الصنـــاعى يكـــون محتواها من المواد العضوية فى الشكل المذاب بنســـبة ١٠٠%. فـــى محطـــة الحمأة المنشطة التى تعالج مياه الصرف الصحى، المـــواد العضويـــة العالقـــة تلتصق بسرعة فى الزغبات، وتمتز المواد الهلامية على الزغبـــات، كمـــا أن جزء من المواد العضوية المذابة يتم إمتصاصها. هذه التفاعلات تحـــدث فـــى الدقائق القليلة الأولى لالتصاق التهوية. بالمقارنة بالنسبة لمياه الصرف ســـريعة التحلل البيولوجى مثل مياه صرف الصناعات الغذائية، فإن جزء مـــن الحمـــل العضوى يمتز بسرعة والباقى يزال بدلالة الوقت والتركيز البيولوجى للمـــواد الصلبة. يحدث إمتزاز قليل جدا فى مياه الصرف التى تقاوم التحلل البيولوجى.

هذه الظاهرة موضحة فى الشكل (٨/٧) كما يجب ملاحظة أن مياه الصرف الصناعى ذات المحتوى من المواد العضوية المنيعة (المقاومة للتحلل البيولوجى) يجب عمل معالجة مسبقة لها. كما أن مياه الصرف الصناعى ذات محتوى منخفض من مواد الغذاء (الفوسفور والنيتروجين) إلا أن مياه الصرف الصحى ذات المحتوى الزائد من هذه المواد سوف توفر الميزان الغذائى المطلوب.

- فى معالجة مياه الصرف الصحى، من المتوقع أن تنتج عملية الحمأة المنشطة مياه معالجة ذات محتوى من المواد الصلبة العالقة أقل من ٢٠ ملجرام/لتر ولكن فى حالة مياه الصرف الصناعى تزداد نسبة المواد الصلبة العالقة ذات الطبيعة المشتتة فى المياه بعد المعالجة نتيجة أحد الأسباب الآتية:

- المحتوى العالى من المواد الصلبة المذابة (الاملاح) يمكن أن يسبب زيادة فى المواد الصلبة غير القابلة للترسيب والمشتتة، كما تزاد كثافة السائل بما يقلل من معدل ترسيب الحمأة.
- المواد الصلبة العالقة المشتته تزداد مع زيادة درجة حرارة حوض التهوية. يمكن خفض كمية المواد الصلبة العالقة فى المياه المعالجة بإضافة مروب قبل الترويق النهائى، حيث يلزم توفر الوقت الكافى لحدوث التزغيب والترويب. يمكن تحقيق ذلك بوجود غرفة تزغيب ما بين حوض التهوية والمروق أو بغرفة تزغيب. خلال المروق كما هو موضح فى الشكل (٨/١١).
- يمكن استخدام البلمرات الكاتأيونية أو أملاح الحديد أو الالومنيوم كمادة ترويب. عند استخدام البوليمر الكاتأيونى يجب عدم زيادة الجرعة حيث أن ذلك يسبب تغير فى الشحنة وإعادة التشتت للمواد الصلبة.



شكل (٨/١١) إضافة المروب لإزالة المواد الصلبة العالقة

٦- *المرشحات البيولوجية: (Trickling Filters)*

المرشح الزلطى عبارة عن طبقة من الحشو بقطع البلاستك مغطاة بطبقة من البكتريا حول حبيبات الوسط الترشيحى والتى تمر المياه فوقها. مع مرور مياه الصرف خلال المرشح، تزال المواد العضوية الموجودة بواسطة الطبقة البيولوجية التى تحيط بحبيبات الوسط الترشيحى. تستخدم مادة البلاستك للتحشيه (كوسط ترشيحى) بعمق حتى ١٢,٢ متر تحميل هيدروليكى مرتفع حتى ٠,١٦ متر مكعب فى الدقيقة لكل متر مربع من سطح المرشح البيولوجى. تصل نسبة الإزالة للحمل العضوى إلى ٩٠% فى بعض مياه الصرف وذلك طبقا للتحميل العضوى وعمق المرشح. الشكل (٨/١٠) يوضح مكونات المرشح بالحشو من البلاستك.

لقد استخدم المرشح الزلطى بمادة الوسط الترشيحى (التحشية) من البلاستك للمعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى عالية التركيز حيث أمكن تحقيق نسبة إزالة للحمل العضوى (BOD) حوالى ٥٠% وذلك عند أحمال هيدروليكية وعضوية أكبر من ٠,١٦ متر مكعب/الدقيقة / المتر المربع، ٨٠ كجرام/المتر المكعب فى اليوم. مع إنخفاض درجة الحرارة تخفض كفاءة المرشح الزلطى.

٤- الملامسات البيولوجية الدوارة (Rotating Biological Contactors)

يتكون الملامس البيولوجى الدوار من وسط ترشيحى من البلاستك بقطر كبير مركب على عامود إدارة أفقى فى حوض. يدور الملامس ببطئ مع حوالى ٤٠% من المساحة السطحية مغمورة. تتكون طبقة من الكتلة البيولوجية بسمك ١-٤ مليمتر على الوسط الترشيحى. (وهذه تكافئ ٢٥٠٠ إلى ١٠٠٠٠ ملجرام/لتر فى النظام المخلوط). مع دوران الملامس فإنه يحمل طبقة من مياه الصرف إلى الهواء بما ينتج عنه انتقال الأكسجين والغذاء. تحدث إزالة إضافية مع دوران الملامس خلال السائل فى الحوض. تأثيرات قوى القص تسبب سقوط الكتلة البيولوجية من على سطح الوسط الترشيحى كما فى حالة المرشحات الزلطية. تزال الكتلة البيولوجية فى المروق. الوسط الترشيحى يتكون من البولى إثيلين عالى الكثافة بمساحة سطحية نوعية ١٢١ متر مربع/المتر المكعب. قطر الوحدات حتى ٣,٧ متر وبطول ٧,٦ متر، تحتوى على سطح ٩٢٩٠ متر مربع فى المقطع الواحد.

المتغيرات ذات التأثير على كفاءة المعالجة هى:

- سرعة الدوران.
- زمن المكث لمياه الصرف.
- درجة الحرارة.
- غمر القرص.

فى معالجة مياه الصرف ذات الحمل العضوى المنخفض حيث BOD حتى ٣٠٠ ملجرام/لتر فإن الكفاءة تزداد مع زيادة سرعة الدوران حتى ١٨ متر فى الدقيقة مع عدم تحسن إضافى عند زيادة سرعة الدوران عن ذلك. أما فى حالة مياه الصرف ذات الأحمال العضوية العالية فإن زيادة سرعة الدوران تزيد الالتصاق، التهوية، الخلط. ولكن الزيادة السريعة فى سرعة الدوران تزيد من استهلاك الطاقة بما يتطلب المواءمة ما بين زيادة الطاقة وزيادة المساحة.

عند معالجة مياه الصرف الصحى تزداد الكفاءة مع زيادة حجم السائل إلى مساحة سطحية ٠.٠٠٤٩ متر مكعب/المتر المربع. لايحدث أى تحسن فى حالة الزيادة عن هذه القيمة، فى كثير من الحالات حدث تحسن بزيادة المراحل من ٢ إلى ٤ ولكن لم يحدث أى تحسن فى حالة زيادة المراحل عن ذلك.

توجد عدة عوامل بسبب هذه الظاهرة. معدل التفاعل يزداد مع التدفقات المحجوزة او العمليات متعددة المراحل، مع تغير المحتويات فى مياه الصرف فإن الكتلة البيولوجية يمكن أن تتأقلم مع ملوثات معينة فى المراحل المختلفة، يمكن أن تحدث النترجه فى المراحل الأخيرة حيث المستوى المنخفض من الحمل العضوى يساعد فى زيادة النمو والتكاثر لبكتريا النترجة على الوسط الترشيحى.

فى حالة مياه الصرف عالية التركيز، يمكن استخدام المرحلة الأولى بحجم كبير للمحافظة على استمرار الحالة الهوائية. يمكن استخدام مروق فى المراحل البينية حيث تنتج كميات كبيرة من المواد الصلبة وذلك لتجنب الحالات اللاهوائية فى أحواض التلامس.

القواعد التصميمية طبقا للمعادلة الآتية والتى تشبه تلك للحمأة المنشطة:

$$\frac{Q}{A} \quad (S_0 - S) = KS$$

حيث

Q = معدل التدفق.

A = المساحة السطحية.

S_0 = تركيز المياه الداخلة.

S = تركيز المياه المعالجة.

K = معدل التفاعل.

فى حالة مياه الصرف ذات التفاعلات شديدة التغير بالنسبة للتركيز

$$\frac{Q}{A}(S_0 - S) = K \frac{S}{S_0}$$

فى حالة مياه الصرف ذات الأحمال العضوية العالية (BOD) يمكن تحسين الأداء باستخدام هواء غنى بالأكسجين حول الوسط الترشيحى وذلك لزيادة إنتقال الأكسجين وإزالة الحمل العضوى.

أقصى معدل لإزالة الحمل العضوى يرتبط بالحمل العضوى ودرجة التحلل البيولوجى للمواد العضوية.

كفاءة المفاعلات المتعددة على التوالى يمكن تعريفها بالمعادلة

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{1}{1 + KA/Q}\right)^n$$

حيث n هو عدد المراحل.

٧- المعالجة البيولوجية اللاهوائية: Anaerobic Decomposition

المعالجة البيولوجية اللاهوائية هى عبارة عن تحلل لاهوائى حيث تتحلل المخلفات العضوية إلى الغاز (الميثان وثانى أكسيد الكربون) فى عدم وجود الأكسجين. رغم التشابه مع المعالجة الهوائية إلا أنه توجد إختلافات أساسية معينة حيث يلزم مراعاتها وهى:

تحول الاحماض العضوية إلى غاز الميثان ينتج طاقة صغيرة، لذلك فإن معدل النمو يكون بطيئا وبالتالى إنتاج وتكاثر الكائنات يكون بطيئا. تفاعلات معدل الإزالة وإنتاج الحمأة كلاهما قليل جدا مقارنة بالحمأة المنشطة. كمية المواد العضوية التى تتحول إلى الحالة الغازية تختلف ما بين ٨٠ إلى ٩٠%. حيث أن تخليق الخلايا أقل فى العملية اللاهوائية فإن مطالب الغذاء تكون بالتالى أقل عن المطلوب للعمليات الهوائسة. زيادة الكفاءة تحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة واستخدام التسخين للمفاعلات اللاهوائية، حيث يمكن استخدام غاز الميثان المنتج لتوفير هذه الحرارة. ولكن المخلفات ذات المحتوى المنخفض من الأكسجين الحيوى أو الأكسجين الكيماوى المستهلك سوف لاتوفر الميثان الكافى للتسخين بما يتطلب مصدر إضافى للتسخين.

<u>العملية اللاهوائية تعمل بأحد عدة طرق:</u>

١- عملية الإلتصاق اللاهوائية: (Anaerobic Contact Process) الشكل (٨/١١) يوضح فصل وتدوير نبت الكائنات (Seed Organisms)، بما يسمح زمن مكث للعملية من ٦-١٢ ساعة، يلزم عادة توفير جهاز لإزالة الغازات لخفض المواد الصلبة الطافية فى خطوة الفصل. لزيادة درجة المعالجة فإن زمن المكث قدر عند ٣٢°م لمدة عشرة أيام، وهذا التقدير يتضاعف لكل خفض فى درجة الحرارة قيمته ١١°م.

٢- المرشح اللاهوائى يوفر نمو للكائنات الدقيقة اللاهوائية على مادة الوسط الترشيحى. المرشح يمكن أن يعمل بالتدفق العلوى كما هو موضح فى الشكل (٨/١١) أو بالتدفق لأسفل. الوسط الترشيحى من مادة الحشو بينما يحتجز المواد الصلبة البيولوجية كذلك يوفر الفصل للمواد الصلبة والغاز المنتج فى عملية الهضم والتحلل اللاهوائى.

٣-فى حالة التدفق العلوى بطبقة الحمأة اللاهوائية شكل (٨/١١) توجه مياه الصرف إلى قاع المفاعل حيث يجب توزيعها بانتظام. مياه الصرف تتدفق لأعلى خلال طبقة من حبيبات بيولوجية متكونة والتى تستهلك المخلفات مع مرورها خلال الطبقة. عند تصاعد غاز الميثان وغاز ثانى أكسيد الكربون فإنه يتم إحتجازهما فى (Dome) الغازات. يمر السائل الى حيز الترسيب للمفاعل حيث يحدث فصل مابين السائل والمواد الصلبة. المواد الصلبة تعود إلى مساحة الطبقة بينما تخرج السوائل فوق الهدارات. تكون الحبيبات واستمرارها له أهمية بالغة فى نجاح العملية. فقد أظهرت الدراسات أن ١٥٠ ملجرام على اللتر من أيون الكالسيوم يساعد على تكون الحبيبات، أيون الحديدوز بنسبة ٥-١٠ ملجرام/لتر يساعد فى خفض النمو العضوى. للمحافظة على بقاء الطبقة طافية وعالقة فإن سرعة التدفق العلوى من ٠,٦ إلى ٠,٩ متر فى الساعة إستخدمت بنجاح. يحدث تثبيت للمخلفات عند مرورها خلال طبقة الحمأة، مع تركيز للمواد الصلبة فى طبقة الحمأة مرتفع ما بين ١٠٠ إلى ١٥٠ جرام/لتر. كما أن التحميل حتى ٩٦ كجرام / المتر المكعب فى اليوم استخدم بنجاح فى بعض أنواع مياه الصرف. فى المعالجة لمياه الصرف من صناعات السكر حققت خفض ٨٠% مع تحميل ١٠ كجرام (CDO) اكسجين كيماوى / المتر المكعب فى اليوم.

٤-فى مفاعل الطبقة السائلة شكل (٨/١١) يتم ضخ مياه الصرف إلى أعلا خلال طبقة الرمال التى تنمو عليها الكائنات الميكروبية. تركيز الكتلة البيولوجية الذى يزيد عن ٣٠٠٠٠ ملجرام/لتر. عودة المياه المعالجة للخلط مع المياه الخام بكميات تمليها تركيزات مياه الصرف وسرعة الطبقة السائلة. كفاءة الإزالة

للمواد العضوية بنسبة ٨٠% توفرت عند تحميل ٤ كجرام COD / المتر المكعب فى اليوم لمياه صرف مخففة.

إستخدام الهواء/الكلور فى المعالجة المسبقة والمعالجة النهائى.

١- الهواء: يستخدم الهواء فى أحواض الترسيب الأولى أو أحواض حجز الرمال لإزالة الروائح الكريهة وزيادة الأكسجين المذاب وزيادة ترسيب المواد الصلبة العالقة. كما يستخدم بعد المعالجة النهائية لزيادة محتوى مياه الصرف المعالجة من الأكسجين المذاب. كما يستخدم الكلور فى المعالجة المسبقة وذلك بحقن جرعة كلور عند خروج مياه الصرف من بيارة التجمع أو حوض التسوية وقبل دخولها حوض حجز الرمال حيث يعمل الكلور على التخلص من الروائح الكريهة بتفاعله مع كبريتيد الهيدروجين بالإضافة إلى كونه كمطهر.

فى حالة معالجة مياه الصرف من دباغة الجلود يتم حقن الهواء ومحلول الكلور فى الماء لإمكان التخلص التام من الروائح الكريهة.

الفصل التاسع

معالجة التلوث الحرارى لمياه التبريد

Treatment of Thermal Discharge of Waste Heat and Thermal Pollution

١ – مقدمة:

يمكن إعتبار الحرارة كمصدر للتلوث وذلك نتيجة إضافتها أو إزالتها من الملء وحدوث تغير فى التفاعلات البيوكيميائية، تدمير الكائنات المائية، وتغير نمط الحياة المائية وكذلك خفض نوعية المياه.

يمكن تعريف التلوث الحرارى بأنه التغير الكبير فى درجة حرارة الماء بسبب الإزالة أو الإضافة للحرارة خلال الأنشطة التنموية.

معظم الصناعات المنتجة للحرارة هى محطات توليد الطاقة الكهربية (باستخدام الوقود الطبيعى من الفحم أو الغاز أو الوقود الذرى)، معامل تكرير البترول، مصانع الصلب، المصانع الكيماوية، مصانع الورق ولب الورق. أما باقى الصناعات مثل صناعة منتجات الألبان... الخ فإنها أقل إنتاجا للحرارة. ولكن فى هذه الدراسة سيتم تناول التلوث الحرارى للمياه المستقبلة عند إضافة حرارة من مصادر صناعية، حيث معظمها من صرف مياه تبريد المكثفات من محطات توليد البخار لإنتاج الطاقة الكهربية.

الصرف الحرارى لمياه التبريد على المسطحات المائية له تـــأثيرات طبيعيـة وكيميائية وبيولوجية وذلك فى حالة زيادة حرارة مياه الصرف عن ٥°م عن حرارة المياه فى المسطحات المائية التى يتم الصرف عليها طبقا لقانون البيئة ٩٤/٤.

أ- التأثيرات الطبيعية:

الصرف الحرارى يزيد درجة حرارة المياه المستقبلة. زيادة درجـة الحـرارة للماء يمكن إعتبارها ضارة أو مفيدة حسب طبيعة الاستخدام للمياه. فمثـلاً الميـاه الساخنة تقل قيمتها عند استخدامها لأغراض التبريد والشرب. وعلى الجانب الآخـر فإن المياه الدافئة تقلل تكاليف الكيماويات فى محطات معالجة المياه.

يؤثر التغير فى درجة الحرارة كل الخواص الطبيعية للميـاه وهـى الكثافـة، اللزوجة، ضغط البخار والجذب السطحى، إذابة الغازات فى الماء ومن بينها غـاز الأكسجين المذاب فى الماء. كذلك من المهم المحافظة على درجة الحـرارة لنمـو الكائنات النباتية والتى تموت بإرتفاع درجات الحرارة، حيث إنـها مصـدر جيـد للأكسجين المذاب فى الماء أثناء النهار.

ب- التأثيرات الكيميائية:

زيادة درجة حرارة الماء تزيد من معدل التفاعلات الكيميائية حيث يزداد معدل التفاعل بنسبة ٤,٧% لكل زيادة فى درجة الحرارة ١°م. وكذلـك زيـادة درجـة الحرارة تزيد من الأكسجين الحيويى (BOD) اللازم للتحلـل البيولوجـى للمـواد العضوية المذابة والعالقة، حيث يزداد الأكسجين الحيوى بمعدل ٢% لكل إرتفاع فى درجة الحرارة ١°م.

جـ- التأثيرات البيولوجية:

إرتفاع درجة حرارة الماء يؤثر على معدل النمو للكائنات المائية وكذلك علـى معدلات التكاثر والتنفس أو الموت. ولكن إرتفاع درجة الحرارة فى حـدود ٥-٧°م

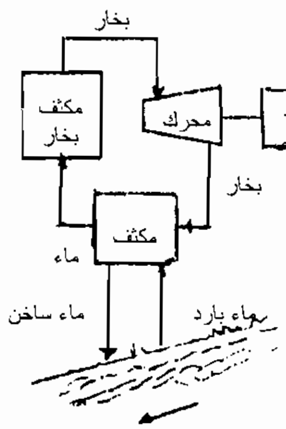
يمكن تحمله. إن زيادة زمن التعرض لدرجة الحرارة المرتفعة يضاعف من تأثيرها السلبى على الكائنات المائية. الأسماك تقاوم مؤقتا درجة الحرارة المرتفعة حتى ٣٤°م، وإن كانت تتأقلم مع درجات الحرارة المرتفعة أحيانا إلا أن ذلك لايحدث فى حالة إنخفاض درجة الحرارة. يزداد معدل التنفس للاسماك ومتطلبات الغذاء مع إرتفاع درجة الحرارة. يمكن للأسماك أن تقاوم لعدة درجات أقل من درجات الحرارة القاتلة المرتفعة ولذلك فإن الأسماك تبحث دائما عن درجة الحرارة المفضلة. كذلك يزداد تأثير السمية لبعض المواد على الأسماك بإرتفاع درجة الحرارة.

٢- آلية التخلص من حرارة مياه التبريد: Mechanism of Heat Dissipation

نقل الحرارة من مكثف تبريد المياه إلى الجو تتم عادة بطريقتين: وهما الصرف المباشر لمياه التبريد إلى مسطحات المياه حيث يتم التخلص من الحرارة الزائدة بطريقة طبيعية، باستخدام تجهيزات التبريد مثل أحواض التبريد أو أبراج التبريد للتخلص من الحرارة الزائدة. فى حالة الصرف المباشر فإنه يتم بطريقتين وهما الصرف السطحى والصرف أسفل سطح الماء.

الصرف السطحى عبارة عن نظام مكون من ماسورة التى تتدفق منها مياه الصرف الحرارى إلى سطح المياه المستقلة، أو بإستخدام هدار تتدفق من فوقه المياه الساخنة إلى سطح المسطح المائى.

نظام الصرف تحت السطحى يتكون من ماسورة وعدة نافورات (Nozzles) موضوعة أسفل سطح الماء. هذا يمكن الصرف الحرارى من الخروج بسرعات عالية واختلاطه بالماء البارد. نظرية الصرف تحت السطحى تعود إلى طفو المياه الساخنة إلى أعلا وكذلك بفعل السرعة العالية للبثق التى تتراوح ما بين ١٠-١٥ قدم فى المثابة شكل (٩/١).



شكل (٩/١) نظام التبريد مرة واحدة

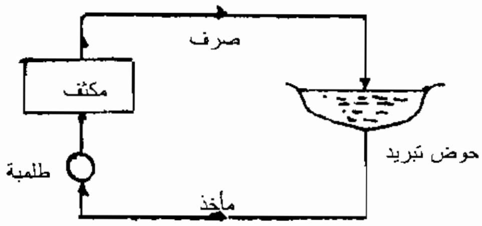
٣- *نظم التبريد:* *Cooling Systems*

أ- التبريد بالتبخير (Evaporative Cooling)

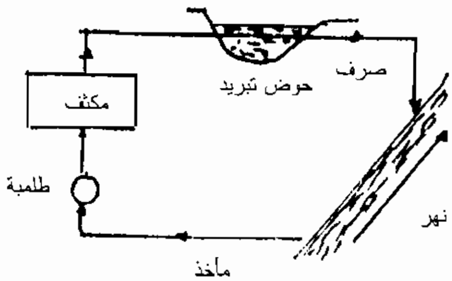
(١) أحواض التبريد

وهذه هى أبسط طريقة للتخلص من الحرارة الزائدة كما أنها قليلة التكلفة وذلك فى حالة توفر مساحات من الأراضى. وهذه الأحواض تتراوح فى العمق ما بين ٦-٨ قدم كما أنها يمكن أن تعمل لمدة زمنية طويلة يوجد ثلاث أنوع من هذه الأحواض وهى:

- الأحواض تامة الخلط حيث تكون درجة الحرارة واحدة خلال الحوض.
- الأحواض ذات التدفق الداخلى حيث تنخفض درجة الحرارة باستمرار مع تحرك المياه من المأخذ إلى المخرج. مأخذ المصنع يمكن أن يوضع عند مخرج الحوض، وبذا يوفر دائرة مقفلة، أو أن مخرج الحوض يمكن أن يصرف الماء إلى مسطح مائى طبيعى. وبذا يتوفر نظام الدائرة المفتوحة شكل (٩/٢)، شكل (٩/٣).



شكل (٩/٢) بركة تبريد - الدورة المقفلة



شكل (٩/٣) بركة التبريد - الدورة المقفلة

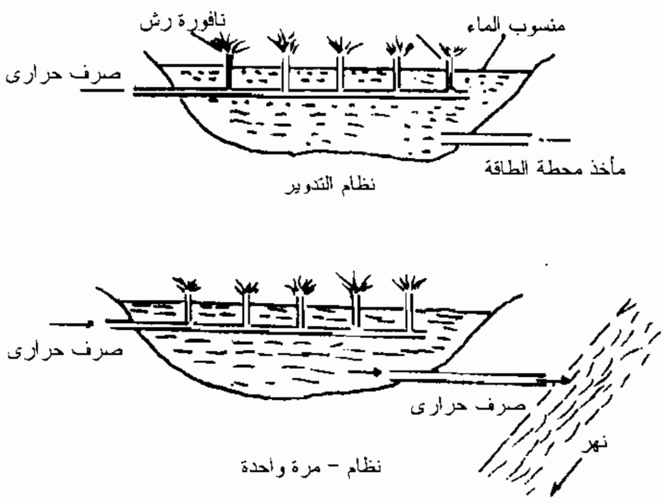
- الأحواض ذات الدوران الداخلى حيث المياه الساخنة ترتفع فوق المياه الباردة.

عند تصميم أحواض التبريد فإن العامل الهام هو المساحة السطحية المطلوبة لتبريد الصرف الحرارى، نظرا لأن الانتقال الحرارى يحدث غالبا عند السطح. المساحة السطحية المطلوبة هى هكتار لكل طاقة ميجاوات بالنسبة للمحطات التى تعمل بالوقود التقليدى (Fossil)، ١,٥ - ٢ هكتار للمحطات التى تعمل بالوقود النووى. زمن المكث فى أحواض التبريد أطول مقارنة بأبراج التبريد.

(٢) أحواض الرش (Spray Ponds)

أحواض الرش هى أحواض تبريد مطورة حيث أنها تحتوى على نظام تبريد مكون من نافورات فى مواسير مثقبة شكل (٩/٤). نظام الرش يفتت المياه الساخنة

إلى نقاط مياه صغيرة بقطر ٠,٣٨ إلى ٠,٥ بوصة. وهذه النقاط الصغيرة توفر أكبر سطح للمياه لتسهيل الإنتقال الحرارى إلى الجو أفضل من الإنتقال الحرارى من أحواض التبريد. أحيانا تزود أحواض الرش بفتحات حماية مستطيلة مائلة لخروج المياه وخفض الفقد. تصميم حوض الرش يتوقف على الظروف المناخية، سرعة الرياح، وتوفر الأراضى. معدل الإنتقال الحرارى لأحواض الرش يتراوح ما بين ٤٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ وحدة حرارية فى الساعة على القدم المربع ($Btu/h/ft^2$). حوض الرش يمكن أن يتكون من نظام الرش الثابت، حيث أوضاع المواسير والنافورات يكون ثابتا أو نظام الرش يكون متغيرا حيث الوحدات المحتوية على عدة نافورات تستخدم فى رش المياه الساخنة.

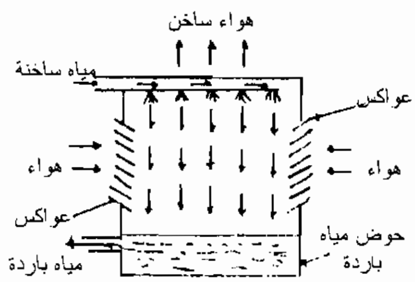


شكل (٩/٤) برك الرش

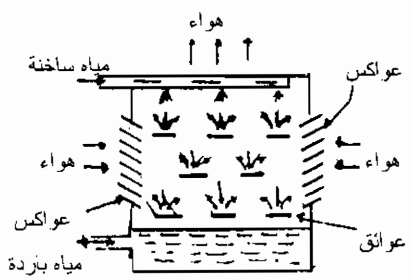
(٣) الأبراج الهوائية (Atmospheric Towers)

فى الأبراج الهوائية يتم ضخ المياه الساخنة إلى أعلا ثم يتم رشه إلى أسفل خلال فتحات. يدخل الهواء إلى برج التبريد خلال الفتحات المائلة المستطيلة

(Louvered) الموجودة فى الاجناب ويتدفق خلال إتجاه عرضى. الــهواء الســاخن المحمل بالرطوبة يرتفع إلى أعلا ويتم صرفه خلال قمة الــبرج. تتوقــف حركــة الهواء خلال البرج على سرعة الرياح خارج البرج. يوجد نوعيــن مــن الأبــراج الهوائية الشكل (٩/٥) حيث تفتت النافورات المياه إلى نقـــاط صغــيرة، الأبــراج الهوائية المجهز بعوائق شكل (٩/٦) والتى تعمل على زيادة سطح المياه المعرضة. هذه الأنواع من الأبراج الهوائية ليست شائعة الإستخدام حاليا وإن كان اســتخدامها مقصورا فقط فى حالة عدم الاهتمام بارتفاع درجة الحرارة.



شكل (٩/٥) حوض الرش الهوائى



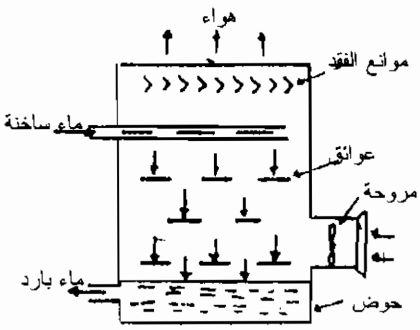
شكل (٩/٦) حوض العوائق الهوائى

(٤) أبراج السحب الميكانيكى (Mechanical Draft)

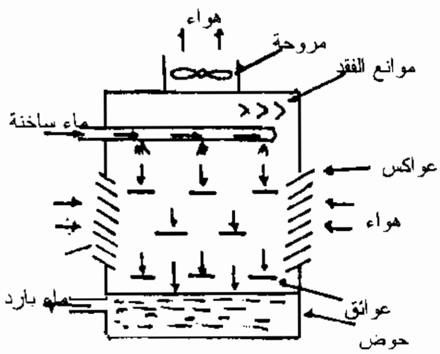
أبراج السحب الميكانيكى بتبخير المياه. حيث يستخدم لذلك برج مصنوع مـــن الخشب أو من الخرسانة به حشو من الخشب أو من البلاستك والذى تســقط فوقــه المياه لتتكون حبيبات صغيرة من قطرات الماء. يستخدم فى هذا النوع من الأبــراج مراوح لتوفير حركة الهواء خلال برج التبريد. المراوح يمكن أن يتم وضعها إمـــا عند المأخذ حيث تدفع الهواء خلال البرج أو عند نهاية المخرج حيث توفر تدفـــق الهواء يوجد نوعين من أبراج التحشية وهما التحشية للتشتت حيث تتشتت المياه إلى طبقات رقيقة متجاورة. السائد فى أبراج السحب الميكانيكى هو التحشــيه للتشــتت

(Splash Packing). تجهز هذه الأبراج بتجهيزات لمنع الفقد والتسرب للمياه فى الجو.

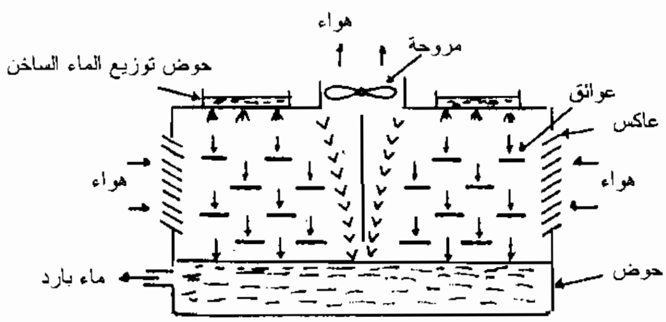
يوجد نوعين من أبراج السحب الميكانيكى وهما أبراج دفع الهواء حيث تركب المراوح عند المدخل شكل (٩/٧)، أبراج سحب الهواء حيث المراوح عند المخرج شكل (٩/٨). يوجد نوعين من أبراج سحب الهواء حيث تكون مروحة أو أكثر عند نهاية المخرج للبرج، حيث يسحب الهواء خلال البرج. يكون تدفق الهواء إما معاكس شكل (٩/٨) أو متقاطع شكل (٩/٩).



شكل (٩/٧) برج دفع الهواء



شكل (٩/٨) حوض دفع الهواء بالتدفق المعاكس

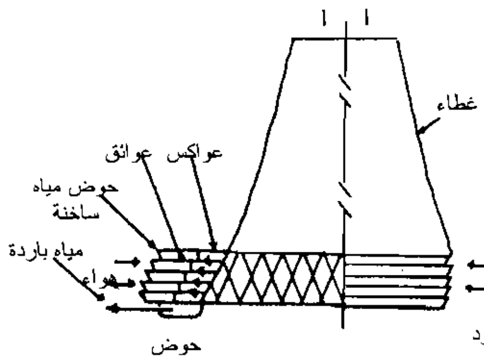


شكل (٩/٩) برج سحب الهواء بالتدفق المتقاطع

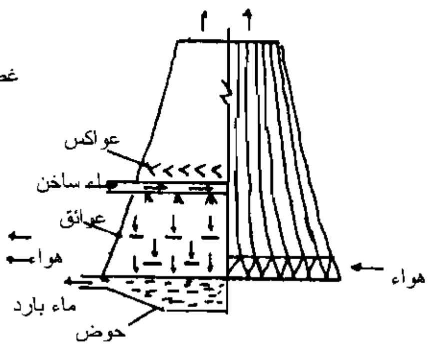
(٥) أبراج التبريد بالسحب الطبيعى للهواء (Natural Draft)

أبراج التبريد بالسحب الطبيعى للهواء عبارة عن منشأ مرتفع حيث يقل المقطع مع الإرتفاع (Hyperbolic). هذه الأبراج تسبب الفقد فى الحرارة كما فى حالة أبراج السحب الميكانيكى للهواء. يتدفق الهواء خلال البرج طبيعيا بسبب وجود إرتفاع متناقص فى المقطع والذى يعمل على سحب الهواء بدلا من المراوح، حيث يتدفق الهواء طبيعيا لوجود فرق فى الكثافة ما بين الهواء الداخلى والخارجى وكذلك بسبب الفرق فى الضغط الجوى بسبب إرتفاع البرج. يمتص الهواء الحرارة وبخار الماء حيث يحدث تبريد للماء الساخن، وبذا تنخفض كثافة الهواء بما يسبب صعوده خلال البرج. مع إرتفاع الهواء الساخن والرطب، فإنه يتم السحب الطبيعى للهواء خلال البرج وبذا يظل التدفق المستمر للهواء.

يبلغ إرتفاع هذه الأبراج حتى ١٥٠ متر. والقاع به مواد تحشيه أو إعاقة لنظام توزيع المياه والفتحات لتدفق الهواء بإرتفاع ٧-١٠متر. يوجد نوعين من هذه الأبراج وهما بالتدفق المعاكس شكل (٩/١٠)، بالتدفق المتقاطع شكل (٩/١١).



شكل (٩/١١) برج التهوية الطبيعية بالتدفق المتقاطع



شكل (٩/١٠) برج التهوية الطبيعية بالتدفق المعاكس

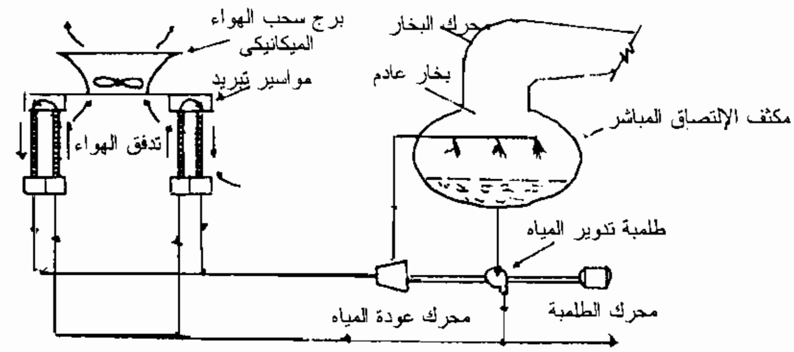
ب- التبريد بدون تبخير (Nonevaporative Cooling)

فى التبريد بدون تبخير أو التبريد الجاف يتم إنتقال الحرارة إلى الهواء بالتوصل الحرارى (Induction and Convection) وليس بالتبخير حيث استمرار تدفق الهواء خلال نظام التبريد مع عدم التصاقه مباشرة مع مياه تبريد المكثف أو البخار المطلوب تكثيفه.

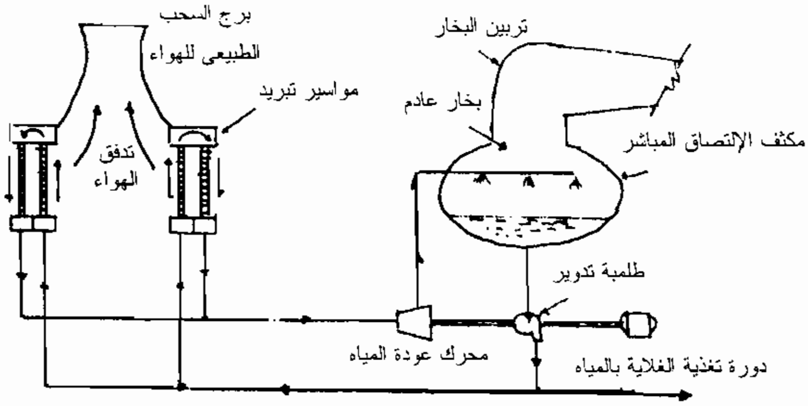
يوجد نوعين من نظام التبريد بدون تبخير وهما النظام المباشر والغير مباشر.

(١) النظام الغير مباشر (Indirect System)

يستخدم فى هذا النظام المكثف بالالتصاق المباشر لتكثيف البخار الخارج من المحرك. يتم ضخ الماء من المكثف إلى برج التبريد الجاف ثم تعاد المياه الباردة إلى نظام الرش فى مكثف الالتصاق المباشر. مكونات النظام غير المباشر هى مكثف الالتصاق المباشر، طلمبات تدوير المياه، محرك إستعادة المياه، مواسير تبريد، برج السحب الطبيعى أو الميكانيكى للهواء لتوفير حركة الهواء المطلوبة. شكل (٩/١٢) يوضح النظام غير المباشر بالدفع الميكانيكى للهواء، الشكل (٩/١٣) يوضح برج السحب الطبيعى للهواء.



شكل (٩/١٢) نظام تبريد غير مباشر - برج سحب الهواء ميكانيكيا



شكل (٩/١٣) نظام التبريد الجاف الغير مباشر ببرج التهوية الطبيعية

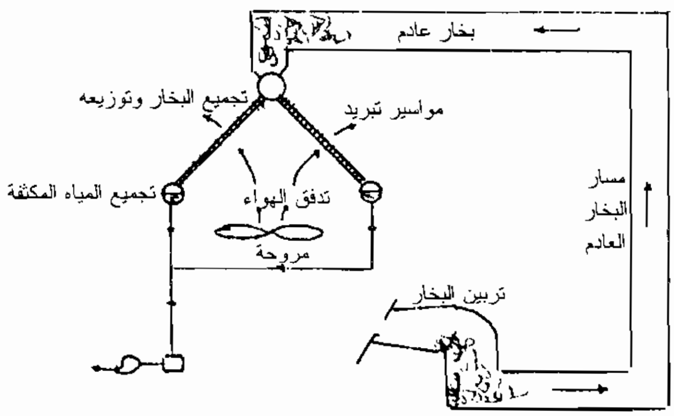
يعمل النظام غير المباشر كالآتى:

يتم رشك المياه الباردة من مواسير التبريد بالالتصاق المباشر فى المكثف الذى يستقبل البخار الخارج من المحرك. تختلط المياه الباردة مباشرة مع البخار وتعمل على تكثيفه. خليط البخار المكثف والمياه الباردة من برج التبريد يتم صرفها من المكثف بالتدوير والطلمبات. كمية مياه مساوية للبخار المكثف من المحرك تدفع إلى الغلاية لإعادة تبخيرها. الحجم المتبقى يوجه إلى مواسير التبريد لتبريده. تظل المحافظة على ضغط موجب فى النظام فيمته ٣ قدم (١ متر) وذلك لمنع تسرب الهواء. يتم تنفيذ ذلك إما بواسطة محبس خانق (Throttle Valve) أو بواسطة محرك عودة المياه مركب فى ماسورة الصرف من البرج.

(٢) النظام المباشر (Direct System)

فى هذا النظام يتم تكثيف البخار العادم من المحرك فى مواسير التبريد وليس فى المكثف المباشر. المكونات الرئيسية هى: حاصدة البخار، مواسير التبريد،

مراوح لتحريك الهواء، طلمبات المياه المكثفة. الشكل (٩/١٤) يوضح مخطط لبرج النظام المباشر. فى هذا النظام يدفع البخار العادم من المحرك إلى مواسير التبريد خلال حاصدة بخار العادم. مواسير التبريد بها زعانف معدنية التى توفر المساحة السطحية الضرورية للانتقال الحرارى. يدفع الهواء بواسطة مروحة طبقا للحاجة لتكثيف البخار. زعانف مواسير التبريد تنشأ كما فى الشكل (٩/١٤) أو قد تكون فى شكل حزم مواسير أفقية. يتدفق البخار والبخار المكثف فى نفس الإتجاه، وبذا ينخفض الفقد فى الضغط مع زيادة معدل الانتقال الحرارى.



شكل (٩/١٤) برج التبريد المباشر الجاف

الفصل العاشر

تداول الحمأة ومعالجتها والتخلص من الزيوت والشحوم من المخلفات الصناعية

أولا: التداول والمعالجة والتخلص من الحمأة:

(Sludge Handing and Processing)

١- بمجرد وجود الحمأة فى عملية المعالجة، يكون من الضرورى عادة التعامل مع هذه الحمأة قبل التخلص منها. الخطوات اللازمة للتعامل تشمل الآتى:

زيادة الكثافة (Thickening).

التنبيت (Stabilization).

المعالجة (الإعداد) (Conditioning).

سحب المياه (Dewatering).

التجفيف الحرارى (Heat Drying).

الإختزال (Reduction).

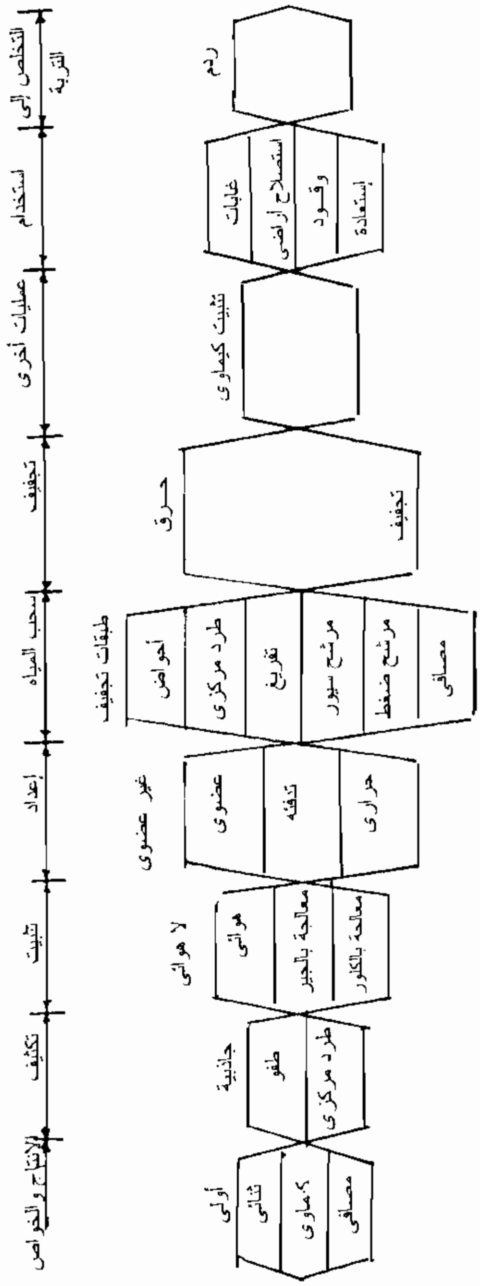
فى معظم الحالات ليست كل هذه الأشكال من التعامل تكون مطلوبة. الخطوات المطلوبة تعتمد على خواص الحمأة والطريقة التى سيتم التخلص بها من الحمأة. التداول لكل نوع من الحمأة يتطلب إعتبارات حذرة نظراً لأن التكاليف المرتبطة

بتداول الحمأة والتخلص منها يمكن أن تمثل ٥٠% أو أكثر من إجمالى تكلفة المعالجة. بدائل تداول الحمأة المتاحة أثناء عمليات المعالجة المسبقة موضحة فى الشكل (١٠/١). المواد المتبقية فى هذا المخطط للتداول تقسم عادة كحمأة أولية (Primary Sludge)، حمأة ثنائية (أو بيولوجية)، حمأة كيماوية، أو مواد أخرى تزال أثناء المعالجة (مثل الرمال، الخبث الطافى، الحجز بالمصافى).

بدائل التداول للحمأة الناتجة فى عمليات المعالجة المسبقة يجب أن تفرق بين الحمأة ذات النوع الحبيبى والتى يمكن زيادة كثافتها وسحب المياه منها بسهولة إلى محتوى من المواد الصلبة فى حدود من ٣٠ - ٥٠% وأكثر، والحمأة ذات خاصية الإحتفاظ بالماء والتى يصعب سحب المياه منها (Dewater) إلى محتوى من المواد الصلبة أكثر من ٢٠%. الحمأة البيولوجية وكثير من حمأة المروبات بالشبه هى من النوع الثانى حيث يصعب زيادة كثافتها وسحب المياه منها مقارنة بالحمأة المحتوية على مكونات من الأجسام الحبيبية (Granular).

إختيار البدائل لتداول الحمأة يجب أن يراعى:

- خواص الحمأة: شاملة خواصها فى حجز المياه وطبيعتها الخطرة أو الغير خطرة.
- نوعية الحمأة.
- محتوى الحمأة من المواد الصلبة الذى سيتم تداوله.
- أسعار الأراضى، الطاقة، والعمالة.
- توفر مساحات من الأراضى.
- القوانين المنظمة للتخلص من الحمأة.



شكل (١٠/١) بدائل التداول والتخلص من الحمأة لنظام المعالجة المسبقة للصرف الصناعى

وقبل كل شئ فإن أختيار عمليات تداول الحمأة يجب البدء بها مع معرفة التكـاليف، البدائل للتخلص النهائى. إنه من العادى إختيار عمليات التداول والتصميم قبل تحديد التخلص النهائى للحمأة. فى مثل هذه الحالات تكون عمليات التداول للحمأة نادراً ما تتوافق مع بدائل التخلص النهائى بالنسبة لسحب المياه من المواد الصلبـة للحمـأة، وبالتالى إما أن الحمأة لا يتم السحب للمياه منها بطريقة كافية أو أن قطـع الحمـأة تكون جافة أكثر من اللازم.

فى الحالة الأخيرة تكون تكاليف التداول وسحب المياه أكثر من المطلوب. هـذا بالإضافة إلى أن المتغيرات مثل قابلية المواد السامة للغسيل، درجة الثبات، ووجـود بعض المواد الأخرى غير المرغوب فيها قد يجعل من الحمأة عدم الملائمة لبدائـل التخلص النهائى.

٢- إعداد الحمأة (Sludge Conditioning)

معظم الحمأة تتطلب شئ من الإعداد قبل زيادة الكثافة وسحب الميـاه (Before Thickening, Dewatering). يمكن أن ينقسم الإعداد إلى نوعين: وهما المروبـات غير العضوية، البولى إليكتروليت العضوية، هذا بالإضافة إلى أنه يمكن إسـتخدام مواد خاملة مثل نشارة الخشب، أو أى مواد أخرى لإمتصاص المياه وزيادة ثبـات الحمأة.

المروبات غير العضوية مثل الجير المطفى (Lime)، الشبه، أملاح الحديديـك تفيد فى ترويب جسيمات الحمأة الهلامية حيث تتكون شبكة غير عضوية فى الحمأة العضوية بما يسهل عملية سحب المياه. ولكن المروبات تزيد من حجم الحمأة، لذلك فإن البولى إليكتروليت المختلفة والتى تستخدم عموما بنسب قليلـة جـدا مقارنـة بالمروبات غير العضوية تفيد فى زيادة حجم جسيمات الحمأة، بمـا يسـاعد فـى عمليات زيادة الكثافة وسحب المياه. فى كثير من الحالات تستخدم المروبات غـير

العضوية ومساعدات الترويب من البولى إليكتروليت العضوى لزيادة كفاءة سحب المياه من الحمأة. فى حالة استخدام التخلص فى التربة أو بالحريق فإنه يجب تقييم استخدام الجير المطفى أو كلوريد الحديديك لتجنب مشاكل الملوحة والتأكل. لذلك فإنه يلزم عمل تجارب معملية أو نصف صناعية لتعيين مادة الترويب والجرعة المناسبة لإعداد الحمأة.

أ- زيادة الكثافة وسحب المياه من الحمأة: (Sludge Thickening, Dewatering)

توجد طريقتين لفصل المواد الصلبة من التدفقات المحتوية على مواد صلبة عالقة بتركيز أكبر من ١% وهما زيادة الكثافة وسحب المياه.

- زيادة الكثافة (Thickening)

  زيادة الكثافة بالجاذبية

  زيادة الكثافة بالهواء المذاب

  زيادة الكثافة بالطرد المركزى

- سحب المياه (Dewatering)

  الترشيح بالضغط

  الترشيح بالسيور الناقلة Belt Filteration

  الترشيح بالتفريغ

  الطرد المركزى

  التجفيف فى طبقة الرمال

يقصد بزيادة الكثافة (Thickening) عموما إلى العمليات المستخدمة للتدفقات الصلبة التى يكون سلوكها كالسائل. بينما سحب المياه (Dewatering) يعنى به

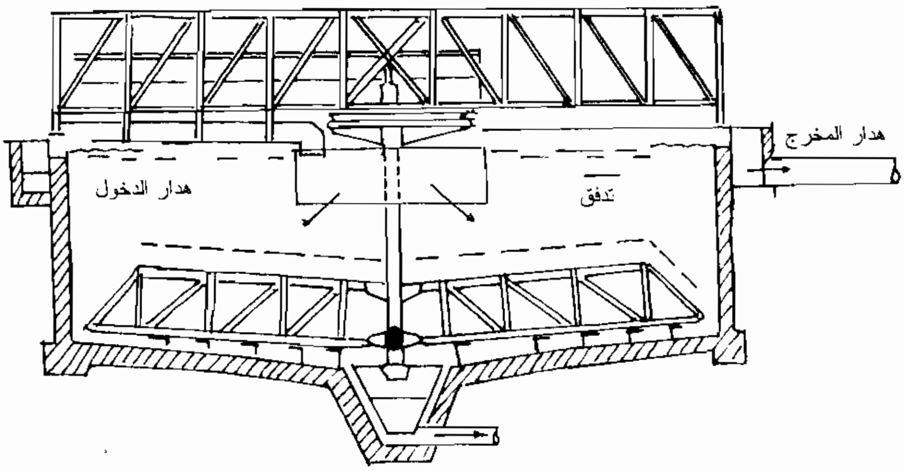
العمليات المنتجة لتدفقات كثيفة يكون سلوكها كالسائل. عموما التدفقات الصلبة ذات التركيز أقل من ٥% تتطلب زيادة الكثافة (Thickening) قبل سحب المياه (Dewatering). عمليات سحب المياه تنتج تركيزات من المواد الصلبة تساوى أو تزيد عن حوالى ١٥%. ولكن كثير من أنواع الحماه تفقد خاصيتها السائلة عند تركيزات أكبر من ٨% تقريباً.

(١) زيادة الكثافة: (Thickening)

تستخدم عمليات زيادة الكثافة لخفض حجم الحمأة ما أمكن ذلك وذلك قبل سحب المياه أو التخلص من الحمأة. فى معظم الحالات كفاءة عملية إزالة المياه من الحمأة تتحسن بشكل كبير مع زيادة تركيز المواد الصلبة ولذلك كلما زادت كفاءة عملية زيادة الكثافة كلما إنخفضت تكاليف عمليات سحب المياه. فمثلا الحمأة من مادة كربونات الكالسيوم نادرا ما يمكن سحب المياه منها عندما تحمل نسبة تركيز المواد الصلبة يقل عن ٦-٧%. عند زيادة تركيز المواد الصلبة عن هذا الحد يحسن من معدل سحب المياه. فى أحد الحالات نسبة تركيز المواد الصلبة ١٠% حقق معدل ترشيح ٢٨٠ إلى ٣٤٠ كجرام/المتر المكعب فى الساعة. بينما فى حالة زيادة كثافة الحمأة إلى ٢٠-٢٢% من المحتوى من المواد الصلبة زاد معدل الترشيح ليصبح ١٤٠٠ إلى ١٧٠٠ كجرام/المتر المكعب فى الساعة.

زيادة كثافة الحمأة بالجاذبية: (Gravity Thickening)

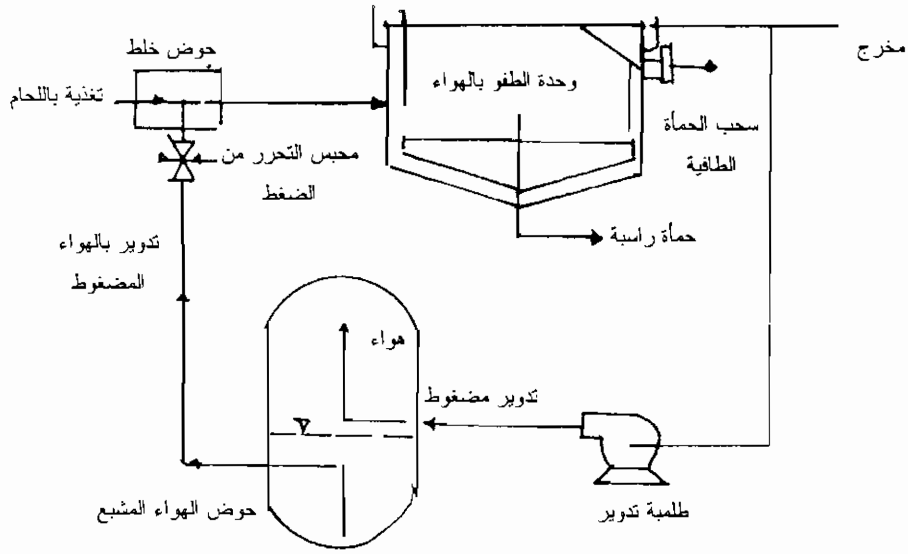
تتم عملية زيادة كثافة الحمأة بالجاذبية فى أحواض الترسيب والترويق حيث آليات الدوران البطيئة شكل (١٠/٢). أهم قاعدة فى تصميم المكثف هى المساحة السطحية المطلوبة لعملية زيادة الكثافة.



شكل (١٠/٢) مكثف الحمأة بالجاذبية

زيادة الكثافة بالطفو بالهواء المذاب:

زيادة الكثافة بالطفو بالهواء المذاب للمواد الصلبة تتم بضغـــط الســـائل (فـــى تطبيقات زيادة الكثافة للحمأة، يكون السائل المتدفق عادة هو الخارج من المروق أى الرائق حيث يتم خلطه مع تدفقات سائل الحمأة الداخلة. شكل (١٠/٣). عند تحـــرر مخلوط السائلين إلى الضغط الجوى، فإنه تتكون فقاعات صغيرة من الهواء والتـــى تلتصق بزغبات الحمأة. التصاق فقاعات الغاز بالمواد الصلبة يقلـــل كثافـــة هـــذا المخلوط المتحد بما يجعل المواد الصلبة تطفو على السطح، حيث يتم كشطها مـــن المياه الرائقه فى شكل مركز. يتم تحرر تدفق الحمأة المضغوط فى حـــوض طفـــو دائرى أو مستطيل. القواعد التصميمية تتغير طبقاً لنسبة الهواء إلى المواد الصلبـــة اللازم لتحقيق تأثير واضح على زيادة كثافة الحمأة، معدل التحميل للمواد الصلبـــة، معدل التحميل الهيدروليكى، والتركيز من المواد الصلبة، عموما زيادة تركيز الحمأة تستخدم الطفو بالهواء لزيادة الكثافة بدلا من زيادة الكثافة بالجاذبيـــة، ولكـــن هـــذه الطريقة أكثر تعقيداً ومتطلبات تشغيلها كثيرة.

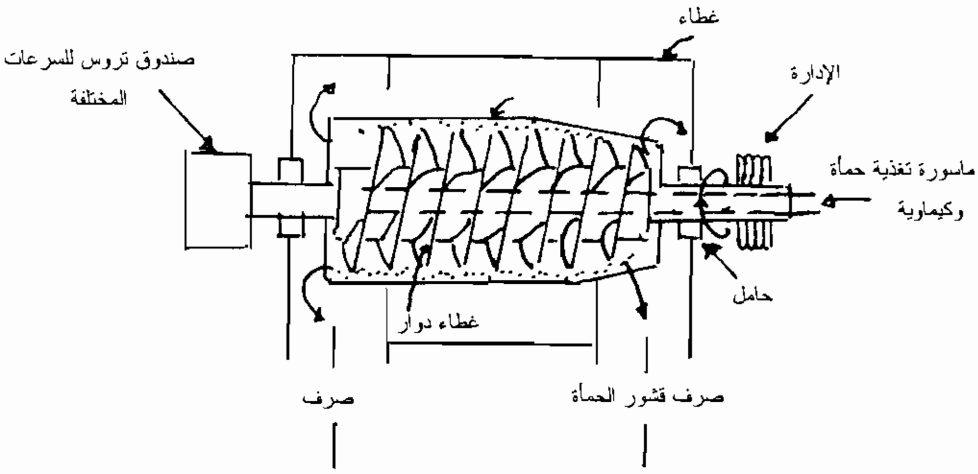


شكل (١٠/٣) الطفو بالهواء المذاب مع تدوير التدفق المضغوط

زيادة الكثافة بالطرد المركزى: (Centrifugal Thickening)

بالإضافة إلى أن عملية الطرد المركزى تعتبر مؤثرة فى زيادة الكثافة للحمأة إلا أنها تستخدم كذلك فى سحب المياه من الحمأة. فى هذه العملية يحدث تعجيل للترسيب باستخدام قوة الطرد المركزى. يوجد ثلاثة أنواع من أجهزة الطرد المركزى المستخدمة فى معالجة مياه الصرف وهى (Solid Bowl Scroll, The Basket, Disk Nozzle). جميع هذه الأنواع الثلاث تعمل بمبدأ إزالة المواد الصلبة من السائل تحت تأثير قوة الطرد المركزى، عموما فى مجال من ١٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ ضعف قوة الجاذبية. الفرق الأساسى بين الأنواع الثلاثة هو طريقة جمع وصرف المواد الصلبة. مخطط لأحد أجهزة الطرد المركزى موضح فى الشكل (١٠/٤). الميزة الرئيسية لزيادة الكثافة بالطرد المركزى هى المحتوى العالى من المواد الصلبة التى يمكن الحصول عليها، حيث تزيد عن استخدام الجاذبية أو حالة

الهواء المذاب وذلك طبقاً لخواص الحمأة. ولكن عيوب هذه الطريقة هـــى التكلفـــة العالية للطاقة بالإضافة إلى تكلفة الصيانة والإصلاح للمعدات المســـتخدمة نتيجـــة التأكل والإنسداد.



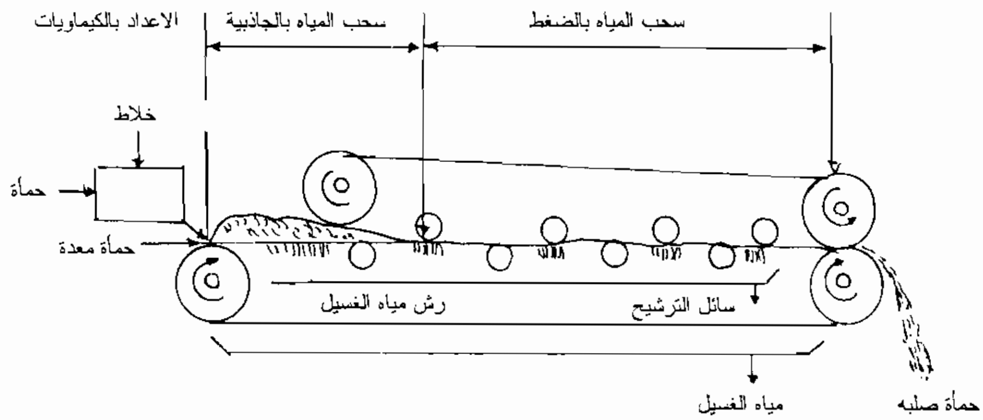
شكل (١٠/٤) الصرف المستمر بالتدفق المعاكس

(٢) سحب المياه: Dewatering

فى حالة التخلص النهائى من الحمأة بالحرق أو بردم التربة (Land fill) فإنـــه يلزم عندئذ خفض الرطوبة. عموما يتم زيادة كثافـــة الحمـــأة (Thickened) قبـــل عمليات سحب المياه. من بين عمليات سحب المياه تشمل الطرد المركزى والـــذى سبق مناقشة، الترشيح بالتفريغ (Vacuum Filteration)، الترشيح بالســـيور الناقلـــة (Belt)، الترشيح بالضغط، طبقات التجفيف (Drying Beds). رغم أن كثـــيراً مـــن المصانع صممت فى الماضى على استخدام الترشـــيح بـــالتفريغ، إلا أن المصـــانع الجديدة إستبدلت هذه التقنية بمرشحات السيور والتى تنتج نفس القشورى من المـــواد الصلبة ولكنها أقل تعقيداً من الناحية الميكانيكية بالنسبة للتشغيل والصيانة مقارنـــة لنظم الترشيح بالضغط.

مرشحات الضغط بالسيور الناقلة: Belt Filter Presses

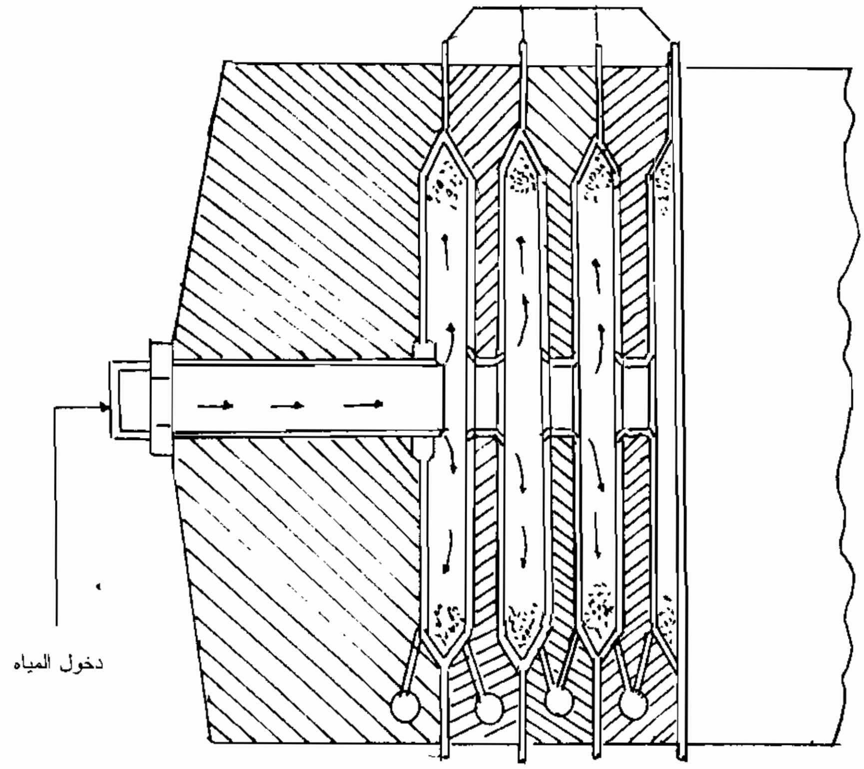
معظم مرشحات الضغط بالسيور تتكون من ثلاث مراحل وهى مرحلة الخلط الكيماوى والإعداد، مرحلة سحب المياه بالجازبية إلى القوام الغير سائل، ثم المرحلة حيث الإلتصاق يضيف إلى سحب المياه من الحمأة شكل (١٠/٥). الحمأة التى تم إعدادها بالكيماويات يتم وضعها على سير متحرك. فى هذه الحالة فإن المياه تسحب من الحمأة بالجاذبية. فى المرحلة الثانية تتدحرج الحمأة أسفل السير الثانى ليحدث لها إلتصاق أكثر مع بعضها، فى هذه المرحلة يزداد الشد بين السير حيث يحدث أداء قص للحمأة بتمريرها خلال ممر إجبارى بين أسطوانتين. مع ترك الحمأة للضغط ينفصل كلا من السيرين بما يسمح للحمأة للصرف فى قادوس من الإعتبارات الهامة عند تصميم مرشح الضغوط بالسير الناقل تشمل الإعداد بالكيماويات اللازمة، حدود التحميل الهيدروليكى والمواد الصلبة، متطلبات مياه الغسيل للسير.



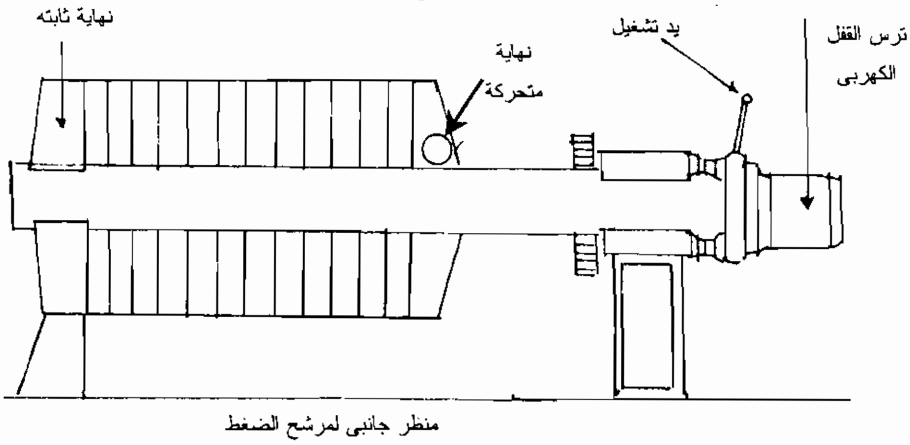
شكل (١٠/٥) الترشيح بالضغط باستخدام السيور الناقلة

مرشحات الضغط باللوح الأجوف (Recessed Plate Filter Press)

عندما يكون المطلوب محتوى عالى من المواد فى الحمأة التى تم سحب المياه منها فإنه تستخدم مرشحات الضغط باللوح الأجوف. الترشيح بالضغط هو عبارة عن عملية مرحلية (Batch) لسحب المياه حيث توضع الحمأة فى المرشح بواسطة طلمبات عالية الضغط. يتم طرد المياه من الحمأة خلال الوسط الترشيحى طبقاً للضغط الناتج من طلمبة التغذية شكل (١٠/٦). تتدفق المياه المرشحة من خلف الوسط الترشيحى خلال ممرات التدفق على سطح اللوح أو فى فتحات غرف الصرف السفلية إلى الخارج فى لوح المرشح. بعد تمام تكون القشور الصلبة عند نهاية عملية الترشيح، تنتهى الدورة وتفتح غرفة المرشح كل غرفة على حدة، بما يسمح بصرف قطع الحمأة إلى قادوس أو إلى سير ناقل. هذه الأنظمة تعمل عند ضغوط تراوح ما بين ٥٠ إلى ٢٢٥ رطل/البوصة المربعة. الميزة الرئيسية لترشيح الضغط لسحب المياه من الحمأة هو المحتوى العالى من القشور الصلبة. مرشحات الضغط العادية توفر قشور حمأة أكثر جفافا باستخدام عمليات سحب المياه التقليدية من الحمأة. ولكن عيوبها التكلفة المرتفعة.



مقطع فى مرشح الضغط



منظر جانبى لمرشح الضغط

شكل (٦/١٠) مرشح الضغط

أحواض التجفيف الرملية: Sand Drying Beds

بالنسبة للمصانع المنتجة لكمية صغيرة نسبيا من الحمأة فإن أحواض التجفيف الرملية تعتبر مناسبة جدا لسحب المياه. يتم جفاف الحمأة بتسرب المياه خلال الحمأة. وطبقة الرمال الحاملة للحمأه وبتبخير المياه من سطح الحمأة نسبة المياه التى تزال بالتسرب تكون ما بين ٢٥-٥٥% طبقا لمحتوى الحمأة من المواد الصلبة وكذلك طبقا لطبيعة حجز المياه بواسطة المواد الصلبة.

يتم وضع الحمأة الرطبة بأعماق ٢٠ إلى ٣٠سم. يتم ترك الحمأة لتجف على الطبقة الرملية حتى تصبح الحمأة قابلة لإمكان رفعها بسهولة يدويا أو ميكانيكيا باستخدام اللوادر. يمكن خفض الزمن اللازم للتجفيف بالإعداد الكيماوى للحمأة.

٣- عمليات وتقنيات التخلص النهائى من الحمأة: Ultimate Disposal Practices and Technology

أ- التخلص من الرمال والمواد المحتجزة بالمصافى:

ويتم بالردم فى التربة أو بالحرق.

ب- التخلص من الحمأة الزيتية:

ويتم بردم التربة بما لايمكن من التسرب أو بالحرق.

جـ- التخلص من الحمأة الكيماوية:

إستخدام أحواض التهوية (Lagoons)، أعمال الردم للتربة، وتحسين خواص التربة (مثل كبريتات الكالسيوم)، وكذلك استعادة كيماويات الترويب.

ثانيا: إزالة الزيوت والشحوم (Oil and Greese Removal)

١- مقدمة:

معايير الصرف للمخلفات السائلة على شبكة الصرف الصحى أو على المسطحات المائية وصنعت حدود لمحتواها من الزيوت والشحوم من ناحية الكم وكذلك من ناحية النوع مثل زيوت البترول والشحوم التى تلتصق وتعيق التدفق فى خطوط الصرف وكذلك تلك التى فى الحالة الصلبة أو الشبه صلبة والطافية. حاليا تعرف الزيوت والشحوم كأحد الملوثات التقليدية مثل الأكسجين الحيوى المستهلك، المواد الصلبة العالقة، الرقم الهيدروجينى، الكوليفورم الغائطى. تناقش إجراءات المعالجة المسبقة عند الحاجة لإزالة الزيوت والشحوم واقتصاديات التخلص وتقنيات التخلص.

٢- قياس المواد بالطرق التحليلية:

لعمل برنامج ناجح لعملية المعالجة المسبقة فإنه يلزم معرفة مختلف المواد نتيجة التحاليل أثناء تعيين تركيزات الزيوت والشحوم. حيث أن درجة المعالجة المطلوبة، تقنيات المعالجة المستخدمة، الأثر البيئى الناتج يختلف طبقا لأنواع المواد.

الطرق القياسية تعرف الزيوت والشحوم كمجموعة من المواد ذات خواص طبيعية متشابهة والتى تحدد كميا على أساس إذابتها فى الفريون (Fereon). الشحوم والزيوت قد تحتوى على هيدروكربونات، أحماض دهنية، صابون، دهون، مواد شمعية، زيوت، ومواد أخرى إستخلصت بواسطة مذيب من عينة حامضية والتى لاتتبخر أثناء الإختبار.

٣- مصطلحات: (Terminology)

توجد الدهون فى كل من النباتات والحيوانات، وهى أحد أهم العناصر الغذائية للإنسان. الشحوم إيسترات الجليسيرول للأحماض الدهنية. وهى تقسم من وجهة النظر الكيميائية طبقا لمتوسط وزنها الجزيئ ودرجة عدم تشبعها. الدهون عبارة عن خليط من مختلف (Triglycerides) وليست مركب واحد ولها درجة إنصهار منخفضه وغير محددة. زيادة المكونات من الأحماض الدهنية الغير مشبعة تعمل على إنخفاض درجة حرارة الإنصهار للمخلوط. عندما يكون الترای جليسيرايد (Triglyceride) سائل عند درجة حرارة الغرفة فإنها عندئذ يسمى زيت.

الزيوت كذلك تحتوى على هيدروكربونات مثل الجازولين، وقود النفاثات، وقود الهيدروكربونات الثقيل، والقار مثل خام زيت البترول، زيوت الديزل، الأسفلت، زيوت التشحيم.

المواد الشمعية (Waxes) هى عبارة عن إيسترات الكحول وحيدة الهيدروكسيل للأحماض (Monohydroxylicalcohol Esters of Fatty Acids) الدهنية. تختلف المواد الشمعية عن الزيوت والدهون لكونها إيسترات للكحولات الأولية العادية طويلة التسلسل. (Ester of Long Chain Normal Primary Alcohols). عند درجة حرارة الغرفة تكون المواد الشمعية أكثر صلابة عن الدهون المواد الشمعية الطبيعية تحتوى على أحماض حرة، كحولات حرة، هيدروكربونات. عند غلى الدهون مع إيدروكسيد الصوديوم، فإنه يتكون الجليسرين، أملاح الصوديوم، أوليت الصوديوم. أملاح الصوديوم للأحماض الدهنية هذه تسمى صابون.

الشحوم (Grease) هو مصطلح يستخدم لخليط من المواد مثل الدهون، الزيوت، المواد الشمعية والصابون وذلك حسب تأثيرها على جمع مياه الصرف ونظم المعالجة.

٤ – القياس: (Measurement)

توجد الزيوت والشحوم أساسا من المواد الدهنية الناتجة من مخلفات المطابخ، ومن بعض الصناعات مثل صناعات حفظ اللحوم، غسيل الصوف، تصنيع الزيوت الغذائية، تصنيع حبوب الصويا وحبوب بذور القطن، والصناعات الغذائية وكذلك من الهيدروكربونات ذات الأصل من زيت البترول. معرفة نسبة مختلف الأنواع من الزيوت والشحوم فى إجمالى المكون من الشحوم فى المخلفات يمكن أن يساعد فى التعرف على المصادر الرئيسية للصناعة وكذلك تعيين العمليات الصناعية.

توجد الزيوت والشحوم فى الماء كمستحلب أو كجزء بترولى خفيف فى المحلول. معظم الزيوت الثقيلة والمواد الشحمية لاتذوب فى الماء، ولكن يمكن أن يكون حدث لها إستحلاب عند الإلتصاق بالمنظفات الصناعية، القلويات، وبعض الكيماويات الأخرى.

الحصول على عينات ممثلة للواقع للزيوت والشحوم من مياه الصرف أو من مياه الصرف المعالجة قد يشكل صعوبة. الزيوت والشحوم قد تلتصق على مختلف أجزاء جهاز سحب العينات الآلى وذلك أثناء جمع العينة المركبة وبالتالى يؤثر ذلك كثيرا على التحاليل الواقعية. لذلك فإن أخذ عينات الشحوم يتم جمعها من أسفل سطح مياه الصرف باستخدام تقنيات العينة المخطوفة (Grab Sample)، حيث يستخدم إناء زجاجى متسع الفوهة لجمع العينة. لايتم جمع العينة من التدفقات العلوية أو من أسفل تدفقات الهدار مباشرة.

عند عدم إمكان عمل التحاليل مباشرة، فإنه يتم حفظ العينة فى حامض كبريتيك مركز طبقا لخطة الحفظ القياسية. لتعيين الشحوم يتم جمع عينات منفصلـــة. يجـــب تجنب تقسيم العينة المركبة فى المعمل ذلك بسبب إلتصاق الزيوت والشحوم علــــى أجناب وغطاء إناء حفظ العينات، حيث يترتب على ذلك خطأ كبير عند التحليل.

توجد طرق قياسية متعددة لتعيين الزيوت والشحوم. عند الحصول على النتيجة فإن الطريقة المستخدمة لتعيين نسبة الزيوت والشحوم فى مياه الصــــرف وكذلــك المذيب المستخدم يجب تعيينهم. كذلك فإن التعيين يجب أن يكون تمام خلال فـــترة زمنية مقاسة لتجنب الفقد التدريجى بالبخر للمكونات الخفيفة.

عند تعيين الزيت والشحوم فإنه لايتم قياس كمية مناسبة مـــن مـــادة معينـــة. الخواص الطبيعية ذات الوزن وذلك لدرجاتها فى مذيبات معينـــة. حاليـــا إســـتخدم الفيريون (Feroen) كمذيب مثالى، وذلك نظرا لأسباب أمنية. ولكن يمكن أن يحـدث تداخل مع مواد عضوية أخرى قابلة للإذابة فى الفيريون وذلك فى حالة وجودهـــا. ولسوء الحظ لايوجد مذيب واحد يذيب الزيوت والشحوم فقط.

يمكن إستخدام أجهزة القياس مثـــل (Gas, Liquid Chromatoraphy) لتعييـــن الزيوت والشحوم، ولكن يصعب لإستخدام الروتينى لهذه الطريقة بســـبب التكلفـــة والتعقيدات لاعداد العينة واستخدام الجهاز.

التقنية القياسية ذات القيمة المحدودة والتى يمكن استخدامها على أساس روتينى تبنى على فصل خليط الزيوت والشحوم إلى الهيدروكربونات والمركبات الدهنيـــة. يتوقف هذا الاختبار على تأين (Polarity) مكونات الخليط. فى التطبيقـــات العمليـــة تستخدم السيليكاجيل لإدمصاص المواد الدهنية الأيونية الموجودة، أما المـــواد مـــن الهيدروكربونات الغير أيونية فلايحدث لها إدمصاص.

مصطلح الزيوت والدهون يشمل المواد من أصل نباتى، المواد من أنسجة الحيوان، وكذلك الزيوت البترولية (الهيدروكربونات) ومواد أخرى مستخلصة بمذيبات خاصة. الزيوت النباتية ذات تركيب كيماوى يشبه الشحوم الحيوانية. المواد الأخرى المستخلصة قد تشمل مركبات إما ذات أصل من زيت البترولى أو من أصل زيت نباتى/حيوانى حيث حدث به تغيير بطريقة ما. وتسمى هذه المواد البتروكيماويات أو الكيماويات المشتقة من الزيت. إضافة المجموعات على (SO_3-H) أو الكلو (Cl-) أو النيتروجين يعتبر مثال لهذا التغير.

٥- مصادر الزيوت والشحوم فى مياه الصرف الصحى والصناعى:

فى مياه الصرف الصحى تمثل الزيوت والشحوم ٢٠% من المواد العضوية مقاسة كأكسيد حيوى مستهلك (BOD)، وقد يصل إلى ٣٠-٥٠ ملجرام/لتر. أما مياه الصرف الصحى المحتوية على مخلفات أنشطة صناعية فإنها تحتوى على تركيزات أعلا.

معظم الأنشطة التجارية والصناعية المسببة لوجود الزيوت والشحوم فى محطات معالجة مياه الصرف هى تكرير الزيوت النباتية، صناعة الصابون، صناعة الألبان، صناعة المعلبات، المغاسل، دباغة الجلود، صناعة المنسوجات الصوفية، بعض الصناعات المعدنية.

٦- مشاكل المعالجة بسبب الزيوت والشحوم:

أ- خطوط مواسير الصرف وبيارات محطات الفتح:

المعالجة المسبقة المناسبة يمكنها منع التغطية والتراكم للزيوت على خطوط مواسير الصرف والطلمبات لدرجة منع إعاقة التدفقات. فى حالة جسيمات الزيوت والشحوم كبيرة لدرجة أنها تطفو على سطح السائل فى المواسير ومحطات

الطلمبات، فإنه يمكن إزالتها بإمكانيات المصنع وذلك قبل صرف سائل الصرف الصناعى على شبكة الصرف الصحى. كما أن التصميم الجيد لخطوط المواسير وكذلك أعمال الصيانة يمكنها من تقليل المشكلة المتعلقة بالزيوت والشحوم.

ب- الترسيب: (Sedimentation)

أحيانا يتم إزالة الزيوت والشحوم فى الترسيب الأولى بدرجة أكبر من المواد الصلبة العالقة. النسب المزالة فى الخبث الطافى ومخلفات الحمأة كبيرة. يحدث الإنسداد بكثرة أحيانا فى خطوط المواسير ذات الأقطار الصغيرة، وخطوط المواسير الطويلة، خطوط المواسير ذات الكيعان الكثيرة، وكذلك خطوط المواسير ذات السطح الداخلى الخشن. مهندس التصميم يمكن أن يتفادى هذه الحالات فى المحطات حيث يتوقع أحمال عالية من الزيوت والدهون. وكذلك يمكن توفير البخار أو أى طريقة لتسخين خطوط المواسير، وكذلك استخدام سدادات التنظيف فى الأماكن المناسبة.

٧- المعالجة البيولوجية الهوائية:

يختلف تأثير الأنواع المختلفة من الزيوت والشحوم على المعالجة البيولوجية الهوائية. بالنسبة للزيوت النباتية والحيوانية فى حالة تشتت فإنها يمكن أن تزال بسرعة فى محطات معالجة مياه الصرف الصحى بالطرق البيولوجية على الجانب الآخر فإن الزيوت ذات الأساس البترولى يتم تحللها ببطء بالأداء البكتيرى، مثل هذه الزيوت والتى تعمل على تغطية الكائنات البكتيرية يمكن أن تمنع إنتقال الأكسجين وبالتالى تحلل المواد العضوية الأخرى.

تخطيط المعالجة للزيوت النباتية والحيوانية المشتتة فى سائل الصرف يجب أن تراعى المخاطر التى يتعرض لها نظام المعالجة. عملية الحمأة المنشطة التقليدية

حساسة لصدمات التحميل من المخلفات الصناعية. هذه المخاطر يمكن أن تكون لعدة أسباب ولكن أساسا يسبب عدم توفر تجهيزات التسوية مع زيادة المواد التى لاتتأقلم معها الكائنات الحية الدقيقة. كما أن مخاطر صدمات التحميل الهيدروليكية وصدمات التحميل العضوية يمكن أن تسبب عدة مشاكل فى نظام المعالجة لسوائل الصرف.

لقد فشلت محاولات المعالجة البيولوجية الهوائية لزيت البترول وذلك يسبب إنخفاض معدل التحلل البيولوجى. رغم أن بعض من زيت البترول يمكن أن يزال أولا من خلال ميكانيزم تراكم وتجميع الزيت على البكتريا وعلى المواد الصلبة العالقة الأخرى ثم الإزالة بالترسيب.

٨- الهضم اللاهوائى: (Anaerobic Digestion)

إن تراكم طبقات التجميع من الشحوم الصلبة أو الشبه صلبه وخاصة مع الشعر وبعض المواد الأخرى أحدث إنسداد فى المفاعلات اللاهوائية وذلك فى حالة عدم التسخين أو الخلط. كذلك فإن الزيوت السائلة تتجمع على السطح بينما السائل المعالج يتم سحبه من أسفل السطح. هذه الطبقة المتجمدة تقلل من طاقة المفاعل اللاهوائى. ولكن حديثا أمكن توفير تصميمات توفر الخلط والتسخين بما يعمل على اسراع عملية الهضم اللاهوائى. بعض الزيوت عند تمام تشتتها فإنها تتحول إلى غاز الميثان. على الجانب الآخر فإن زيت البترول (الهيدروكربونات) لايتم تحللها إطلاقا فى المجال اللاهوائى.

٩- سحب المياه: (Dewatering)

كما وجد أن الزيوت والشحوم تسبب مشاكل وإعاقة فى عمليات سحب المياه للحمأة الطازجة أو المعالجة (Digested). فمثلا كانت الزيوت والشحوم السبب فى

إنسداد المرشحات بسبب أن جزء من الزيوت والشحوم ليس فى الشكل الصلب أو شبه الصلب ينفصل من الحمأة الصلب ليصبح جزء من السائل الناتج، ولذلك يعاد إلى المعالجة.

١٠- تقنيات المعالجة المسبقة:

الزيوت والشحوم الحرة - والتى لم تستحلب - لاتمثل مشكلة كبيرة بالنسبة لإزالتها من الماء ذلك بسبب طفوها وتجمعها على السطح. عندئذ يمكن السحب الميكانيكى أو رفع الزيوت والشحوم من على السطح. ولكن الزيوت والشحوم المستحلبة نظرا لوجودها عالقة تسبب مشاكل لفصلها. طبيعى يجب إستعادة الزيوت والشحوم قريبا ما أمكن من المصدر، وهذا يقلل من حجم وحدات المعالجة كما يقلل من أماكن تجمع وتراكم الشحوم.

لتجنب الاستحلاب للزيت الحر والشحوم خلال عمليات التقليب، فإنه يتم تجنب الضخ الزائد ما أمكن ذلك. كذلك تخفيف المخلفات المحتوية على الزيوت والشحوم بأخرى غير محتوية على الشحوم وكذلك الحصول على أقصى مكث فى نظام الإزالة.

معالجة الزيوت والشحوم يمكن تصنيفها إلى معالجة المرحلة الأولى ومعالجة المرحلة الثانية.

معالجة المرحلة الأولى تستخدم لفصل الزيوت والشحوم الطافية من الماء والمواد المستحلبة، وذلك بالسماح للزيوت والشحوم بالطفو الحر على سطح السائل بسبب الاختلاف فى الكثافة. بهذه الطريقة يمكن إزالة الشحوم والزيوت مستحلية. وتتوقف كفاءة التصميم على التصميم الهيدروليكى المناسب، زمن المكث لمياه الصرف، مع الأخذ فى الإعتبار درجة الحرارة والكثافة النوعية لمياه الصرف والزيوت والشحوم.

أبسط أشكال معالجة المرحلة الأولى هى مصيدة الشحوم المستخدمة فى المنشآت الصغيرة مثل المطاعم، الفنادق، محطات الخدمة. توضع هذه المصيدة فى نظام الصرف لجمع الزيوت والشحوم حيث تكون ما بين شبكة الصرف ومصدر إنتاج المخلفات (مثل المطابخ)، كما تكون فى موقع يمكن من النظافة والصيانة. يجب أن تكون المسافة بين الدخول والخروج من المصيدة كافية لتسمح بالفصل بفعل الجاذبية وبما لايسمح للشحوم بالهروب خلال المخرج. يتم توفير عوائق (Baffles) التحكم فى التدفق وكذلك ضرورة وجود محابس التحكم فى التدفق على جانب الدخول فى حالة المصايد الصغيرة للحماية ضد زيادة التحميل بسبب الإضطراب (Surges) المفاجئ فى مياه الصرف.

فى بعض الحالات عندما تكون مخلفات الشحوم ساخنة فإنه يكون من المفيد وضع المصيدة أقرب ما يمكن من المصدر. فى حالات أخرى تكون إزالة الشحوم الباردة أكثر سهولة وأكثر تأثيرا. يمكن خفض حجم الوحدة وذلك باستمرار الإزالة لطبقة الشحوم المتدفقة قبل أن تبرد وتتصلب.

أجهزة فصل الزيوت والشحوم الصغيرة يقدر حجمها بالنسبة لطاقة حجز الشحوم بالرطل بما يساوى ما لايقل عن ضعف معدل التدفق بالجالون فى الدقيقة. ولكن الزيادة القليلة فى الحجم للمصيدة تكون إقتصادية حيث أنها تتطلب صيانة أقل. مهما كان حجم مصيدة الزيوت والشحوم فإنها يجب أن تعمل بإنتظام وبما لايسمح للشحوم بالهروب. من الناحية العملية تجرى النظافة عند إمتلاء ٧٥% من طاقة المكث للوحدة بالشحوم المتراكمة.

تضع المصايد التجارية من الحديد الزهر أو من الصوف الزجاجى يكون المدخل والمخرج مغمورين ومجهزين بعوائق (Baffled). هذه المصايد التجارية من

الناحية العملية لايتم تنظيفها، حيث تستخدم المصايد التى تعمل كخزان تحليل والتى توفر طاقة تخزين أكبر. هذه الخزانات (المصايد) تكون فى موقع قريب خارج المبنى، وإن كانت الخبرة تجيز التنظيف أحيانا.

قد تشترط قوانين صرف المخلفات إنشاء مصايد فى الجراجات، وفى ورش الماكينات، المطاعم، منشآت التنظيف، والأنشطة المماثلة. الجازولين والزيوت الخفيفة الناتجة من الجراجات ومحلات النظافة الجافة لايتم صرفها فى شبكة الصرف بسبب ما تحدثه هذه المواد من حرائق واحتمالات مخاطر الإنفجارات.

تجهيزات المرحلة الأولى ذات الحجم الكبير يمكن أن تستخدم لمخلفات الصرف من مصانع الصناعات الغذائية والمعلبات. مصايد حجز الشحوم تستخدم على نطاق واسع فى الصناعات الغذائية لإستعادة الدهون وإعادة إستخدامها.

المصايد الضخمة يمكن أن تعمل بالنظام المرحلى أو بالتدفق المستمر وذلك طبقا لحجم ونوع المخلفات المطلوب معالجتها.

فى حالة وجود إستحلاب للزيوت والشحوم فإن عملية الإزالة هى الفصل بالجاذبية ثم وحدة المرحلة الثانية باستخدام عدة طرق لتكسير مستحلب الزيوت والدهون الذى يمر خلال وحدة المرحلة الأولى. توجد طرق مختلفة لتكسير مستحلب الزيوت والدهون وهى الطرق الكيماوية، الكهربية، الطبيعية والبيولوجية. أكثر الطرق استخداما هى الطرق الكيماوية جنبا إلى جنب مع إستخدام الإزالة الطبيعية مثل الطفو.

١١- المعالجة الكيماوية للمستحلب:

تستخدم المعالجة الكيماوية للمستحلب لتوفير عدم الثبات (Destabilizing) لإنتشار الزيت أو لتدمير أى عامل استحلاب موجود. تتكون العملية أساسا بالخلط

السريع لمادة الترويب الكيماوية مع مياه الصرف، يلى ذلك التزغيب ثم الطفو أو الترسيب. تستخدم كيماويات متعددة فى عملية إزالة الاستحلاب وهى أملاح الترويب، الأحماض، الأحماض زائد الحرارة، مساعدات الترويب من البولى إليكتروليت العضوى. إن استخدام الترويب بأملاح الالومينيوم والحديد مؤثر فى إزالة الاستحلاب مخلفات الزيوت، ولكن الحمأة المترسبة يكون من الصعب سحب المياه منها، بالإضافة إلى أن حجم الحمأة المنتجة والتخلص منها يسبب مشكلة. وعند إستخدام الحامض لتكسير المستحلب فإنها تكون عملية مكلفة حيث أن المياه الرائقة المنتجة يجب معادلتها بقلوى قبل الصرف على شبكة الصرف الصحى. إضافة كميات كبيرة من الأملاح الغير عضوية قد يسبب مشكلة تلوث نتيجة زيادة المحتوى من الأملاح المذابة. بعض مواد العضوية من البولى إليكتروليت ذات التأثير الكبير فى إزالة الاستحلاب للزيوت والشحوم هى كذلك مكلفة.

بعد الإضافات الكيماوية لتكسير مستحلب الزيوت والشحوم، فإن الزيت والشحوم الحرة يتم إزالتها عادة وتركيزها بطريقة طبيعية. أكثر الطرق الطبيعية استخداما هى طريقة الطفو شكل (٥/١٤). وهى تتكون من إضافة الهواء إلى تدفقات مياه الصرف تحت الضغط باستخدام طلمبة ثم تفريغ التدفقات المحملة بالهواء إلى الضغط الجوى فى خزان الزيوت وحبيبات المواد الصلبة الصغيرة تلتصق بفقاعات الهواء الصغيرة، وتطفو على السطح حيث يتم كشطها.

فى الطفو باستخدام الهواء المذاب تستخدم طريقتين وهما الضغط المباشر والضغط للتدوير. إعتبارات التصميم والتشغيل تشمل النسبة ما بين الهواء إلى المواد الصلبة (الزيت) واختصارها هو (A / S)، ضغط التشغيل للتدفق المباشر أو التدفق التدوير، معدل التدفق للسائل المضغوط. معدل تدفق السائل الداخل إلى المعالجة.

المعادلتين التاليتين تستخدم لتعيين نسبة الهواء إلى الصلب (A/S):

- ضغط التدوير (Recycle Pressurization)

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3\ As\ (fP - 1)\ R}{Q\ Sa}$$

- الضغط المباشر Direct Pressurization

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3\ As\ (fP - 1)}{Sa}$$

حيث:

Sa = تركيز المواد الصلبة أو الزيوت والشحوم فى المياه الداخلة للمعالجة بالجرام/لتر.

As = تركيز الهواء سم^3/لتر.

R = معدل تدفق للسائل المضغوط متر مكعب/اليوم.

Q = معدل التدفق للسائل الداخل متر مكعب/اليوم.

P = ضغط التشغيل (المطلق) مقاس فى الضغط الجوى.

f = جزء الهواء المذاب عند ضغط P.

النسبة المقبولة (A/S) للتطبيق الناجح للطفو بالهواء لإزالة الزيت والشحم تتوقف على التركيز وخواص الزيت والشحم فى المياه الداخلة للمعالجة. يمكن استخدام خلية طفو فى المعمل لتعيين أفضل نسبة (A/S). التغير فى تركيز المياه الداخلة سيغير نسبة (A/S). يجب على القائم بالتشغيل إعادة ضبط هذه النسبة بتغيير معدل تدفق التدوير، ضغط التشغيل أو كلاهما، وذلك للمحافظة على أقصى كفاءة للعملية.

النسبة (A/S) التى يمكن إستخدامها للطفو هى ٠,٠١ إلى ٠,٠٢ فى الدراسات المعملية حيث أقصى إزالة للمواد الصلبة العالقة عند قيمة (A/S) هى ٠,٠٣ - ٠,٠٥ - الزيادة فى هذه النسبة تسبب الزيادة فى سرعة إرتفاع الفقاعات بما ينتج عنه تدمير التجمعات والطفو بسبب تأثير القص الناتج عن الإضطراب.

التدفق السطحى أو التحميل السطحى هو كذلك معيار تصميمى حيث تقل كفاءة المعالجة بالطفو مع زيادة معدل التدفق أو التحميل السطحى. من الناحية العملية تكون معدلات التحميل السطحى (شاملا التدوير) من ٠,٧ إلى ٢,٧ لتر على المتر المربع فى الثانية.

١٢- التطبيقات:

المكونات الرئيسية لوحدة الطفو بالهواء المذاب تشمل طلمبة الضغط، حوض المكث (Retention Tank)، محبس خفض الضغط، معدة حقن الهواء، حوض للطفو شكل (٥/١٢). يمكن إزالة المواد ذات الكثافة النوعية المنخفضة بالضغط الجزئى لتدفقات الصرف. عند استخدام إضافات كيماوية للمساعدة فى تكوين الزغبات فإنه يستخدم ضغط الهواء مع تدوير المياه الخارجة بالضغط، حيث يحدث التزغيب قبل الطفو شكل (٥/١٣). يضاف الهواء المضغوط إلى تدفقات مياه الصرف الداخلة تحت ضغط من ١٧٠ إلى ٣٤٠ كيلو نيوتن على المتر المربع (KN / M^2)، (٢٥ - ٥٠ رطل/البوصة المربعة / الجالون)، ثم المكث للتدفق فى حوض الحجز لإعطاء الوقت للهواء ليذوب فى مياه الصرف وهذا يتطلب عدة دقائق. ثم تتدفق مياه الصرف خلال محبس خفض الضغط إلى حوض الطفو عند الضغط المنخفض يتحرر الهواء من مياه الصرف فى شكل فقاعات. أحواض الطفو تكون عادة فى شكل إسطوانى أو فى شكل مستطيل. عمق مياه الصرف يتراوح ما بين ١-٣ متر. أول وحدة الطفو بالهواء المذاب كان بمعدل 1.1 متر مكعب فى الثانية. فى

دراسات تجريبية لوحدة الطفو (Pilot Studies) كانت إزالة المواد العالقة بالهواء المذاب ما بين ٦٢% بدون إضافة كيماويات إلى ٩٠% عند إضافة الشبه (٠,٠٩ ملجرام/لكل ملجرام من إجمالى المواد العالقة (مواد صلبة وزيوت وشحوم) فى المياه الداخلة.

إضافة البوليمر وجد أنها أقل تأثير من إضافة الشبه. زيادة نسبة التدوير من ٢٠-١٢٠% ينتج عنه زيادة فى الإزالة بنسبة ١٠ إلى ٧٨%. أقصى نسبة الهواء إلى المواد الصلبة (A/S) وجد أنها ٠,٠٥.

فى أحد الإختبارات الميدانية لوحدة الطفو وجد أن نسبة الإزالة للمواد العالقة تتراوح ما بين ٧٠ – ٧٥% عند إضافة جرعة مروب من الشبة من ٧٥ – ٢٢٥ ملجرام/لتر ثم زادت نسبة الإزالة إلى ٨٠-٨٧% عند جرعة مروبات من الشبة من ١٠٠ إلى ٢٥٠ ملجرام/لتر. وذلك مع ضبط الرقم الهيدروجينى. معدل التدفق كان ١,٣ – ١,٨ لتر على المتر المربع فى الثانية (١,٩ إلى ٢,٧ جالون/القدم المربع / الدقيقة). وزمن المكث إختلف ما بين ١١ إلى ٢٢ دقيقة. ثم ضبط الرقم الهيدروجينى بإضافة حامض، فى هذه الدراسة إنخفض الحمل العضوى من ٤٥ ملجرام/لتر إلى ٥ ملجرام/لتر (BOD).

١٣- الطرق الطبيعية لتكسير المستحلب:

الطرق الطبيعية المستخدمة لتكسير المستحلب تشمل التسخين، الطرد المركزى، الترشيح.

الطرد المركزى يكسر مستحلبات الزيت بفصل مجالى الزيت والماء بقوة الطرد المركزى. تستخدم طريقة الطرد المركزى فى الحمأة الزيتية وهى لاتستخدم فى معالجة مياه الصرف ذات المحتوى المخفف من الزيت إلا فى حالة الأحجام

الصغيرة. إستخدام الترشيح كذلك مع بعض النجاحات حيث استخدام الترشيح الرملى بالمعدل العالى. قبل الإزالة بالجازبية يلزم إضافة مواد الترويب، وهذه المروبات تفيد فى وجود جسيمات كبيرة والتى تحتضن الحبيبات الزيتية كملوثات تجمعات أكبر بما يكفى لإزالتها بالترسيب.

إستخدم فى الماضى عمليات إزالة الاستحلاب الكهربية. حيث يتم إزالة الزيت والشحم بتمرير تيار كهربائى خلال مياه الصرف التى تتدفق فى عدد من المواسير. ينفصل الزيت ويتجمع عند الآنود. هذه الطريقة الكهربية قابلة للتنفيذ أساسا للمستحليات المحتوية على كميات كبيرة من الزيت وكميات صغيرة من الماء.

الصناعات التى تقوم بالصرف على المسطحات المائية للمياه المعالجة بيولوجيا والمحتوية على زيوت نباتية وحيوانية مشتته باستخدام الحمأة المنشطة أو الأحواض المهواه. حيث ثبت أن هذه المعالجات هى المفضلة لمعالجة مياه الصرف لصناعات تكرير الزيوت الغذائية.

ثالثا إزالة الزيت من مياه الإنتاج فى حقول البترول:

١- العوامل المؤثرة على تشتت وثبات زيت البترول:

زيت البترول الخام يمكن أن يتفتت إلى نقاط صغيرة وينتشر فى الماء. الطاقة الميكانيكية تتوقف إلى حد كبير على الشد ما بين السطحى لكل من الزيت والماء، وهى القوة اللازمة لقص حد الزيت/الماء والتى تقاس بالداين/سم.

خام زيت البترول لايوجد فى الحالة النقية إطلاقا حيث يمكن أن يحتوى على عديد من المواد والتى هى ليست هيدروكربونات بسيطة. بعض المكونات تحتوى على ذرات أكسجين ونيتروجين فى تركيبها الجزيئى والذى يعطيها الرغبة للماء (Affinity For Water). ما يسمى المجموعات القطبية (Polar Groups) تعمل كعوامل نشاط سطحى (Surfactants) حيث تخفض كلا من الجزب السطحى الواقع بين السطحين، والذى يعمل على سهولة الخلط المتبادل للزيت والماء.

طبقا لطبيعة مادة النشاط السطحى الموجودة وإلى حد ما النسبة الحجمية للسوائل الرئيسية، فإن زيت البترول الخام والماء يمكن أن يكون مستحليات الماء فى الزيت أو الزيت فى الماء. معظم المستحلبات الطبيعية للزيت الخام هى من نوع مستحلبات الماء فى الزيت، حيث يكون الماء هو المجال الداخلى المشتت. عدد محدود فقط من زيوت خام البترول هى التى تنتج العكس وهو الزيت فى الماء. وهذه يمكن أن يكون من الصعب تكسيرها والمياه المنتجة التى تفصل عادة تحتفظ بكميات كبيرة من الزيت المنتشر.

بعض مستحلبات الزيت الخام تتكون من الزيوت المنتشرة فى نقاط الماء والتى بدورها تنتشر فى الزيت، المجال الخارجى المستمر يكون زيت فى الماء فى الزيت. مثل هذه المستحلبات المعقدة ربما تحدث طبيعيا إلى حد ما وذلك فى آبار

الانتاج التى تعالج بمثبطات تأكل ذات الاساس من الآمين (Amine) والتى تتشـــتت فى الماء. كذلك فإن الكيماويات التى تضاف لتكسير المستحلب للماء فى الزيت فـــى المجال الحقلى يمكن أن تقلل من الجزب السطحى بين الزيت والماء. كذلـــك فـــإن طلمبات الطرد المركزى التى تعمل بسرعات عالية يمكن أن تعمل على التجـــانس وتثبيت الزيت فى تشتيت الماء. كذلك فإن تصادمات السائل عند الإنحناء الحادة فـى خط المواسير والطرطشة داخل الخزانات السطحية لها نفس التأثير.

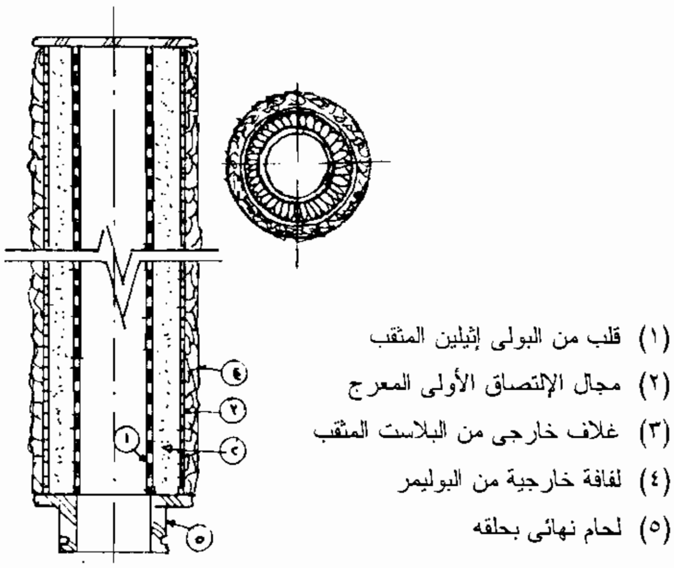
٢- إزالة الزيت والأجسام الصلبة الزيتية بالإلتحام والإلتصاق:

Removal of Oil and Oily Solids by Coalescence

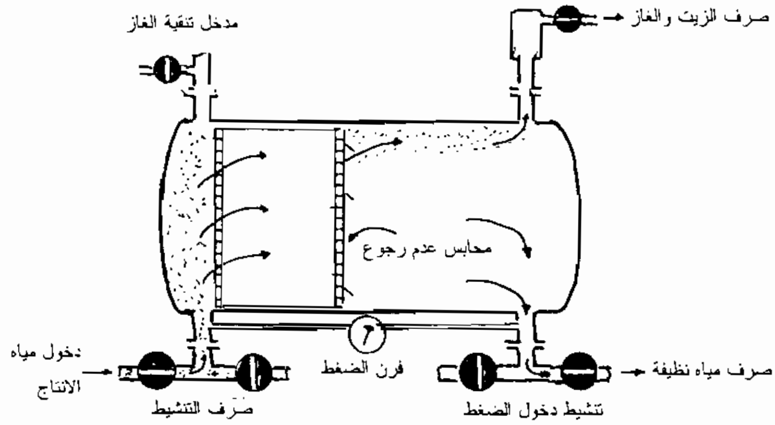
بعض أجهزة الالتصاق ليست سوى أحواض مجهزة بعوائق داخلية التى تعكس الاتجاه عدة مرات للمساعدة فى فصل الزيوت المحتجزة. البعض الآخـــر يســـتخدم مجال مفكك للإلتصاق مثل الرمل الخشن أو حبيبات الكربون والتى تعمـــل علـــى الحجز المؤقت وتركيز نقاط الزيت إلى الأحجام الأكبر التـــى تنفصـــل بســـرعة. المجالات الحبيبه كعامل التصاق تكون معرضة لتراكمات العفن نتيجة تجميع المواد الزيتية الصلبة بنفس طريقة الوسط الترشيحى.

نقاط الزيت المحتجزة الصغيرة جدا من حيث الارتفاع بسرعة للفصل بالجاذبية يمكن أن تلتصق إلى حبيبات أكبر بالمرور خلال مجال من البلاستك الـــذى يبتـــل بـــالزيت (Oleophilic - Oil Wattable) مثـــل الرغـــاوى الأســـفنجية (Foam) أو المنسوجات من البولى بروبيلين أو البولى يوريثان أحد هذه النماذج موضـــح فـــى الشكل (١٠/٧). عند الاستخدام يتدفق الماء الزيتى إلى داخل الخرطوشة ويخـــرج من خلال الجدران حيث يحدث الإلتصاق، يستخدم عدد من الخراطيش فـــى مكـــان واحد لتداول أحجام ضخمة من الماء. مجال البلاستك الأسفنجى للإلتصاق يمكـن أن يعالج مياه الإنتاج التى تحتوى على قليل أو لاتحتوى على مواد صلبة مبتله ولكـــن

تراكم العفن بالمواد الزيتية الصلبة عادة يكون مشكلة. جهاز الفصل بالأسفنج الذى يبتل بالزيت (Oleophilic Foam) المصمم لإزالة كلا من الزيت والمواد الصلبة المبتلة بالزيت موضح فى الشكل (١٠/٨). الزيت الخفيف الملتصق يتحرك خلال كتلة البلاستك الأسفنجي (Foam Pack) حيث يسحب آليا إلى الخارج. الزيوت الثقيلة، شمع البارافين، والمواد الصلبة الزيتية تحتجز فى جسم كتلة البلاستك الأسفنجى بعمليات الادمصاص، الالتصاق، والحجز. مع حدوث الإنسداد فى كتلة البلاستك الغروى الاسفنجى، يزداد الفقد فى الضغط والذى ينبه ويثير دورة التنشيط الآلية. أثناء التنشيط، إتجاه تدفق الماء ينعكس لقفل محابس عدم الرجوع وضغط كتلة الأسفنج يتدفق الماء من الأمام ومن الخلف وذلك لضغط واستقرار الاسفنج على التوالى. يتم بعد ذلك غسيل كتلة الفوم بالماء بعد تفككها بالغاز ثم دخولها الخدمة. عوامل الإلتصاق بالفوم المنضغط استخدمت فى صناعة البترول منذ عام ١٩٨١.



شكل (١٠/٧) مرشح الخرطوشة لالتصاق الزيت (سائل/سائل)



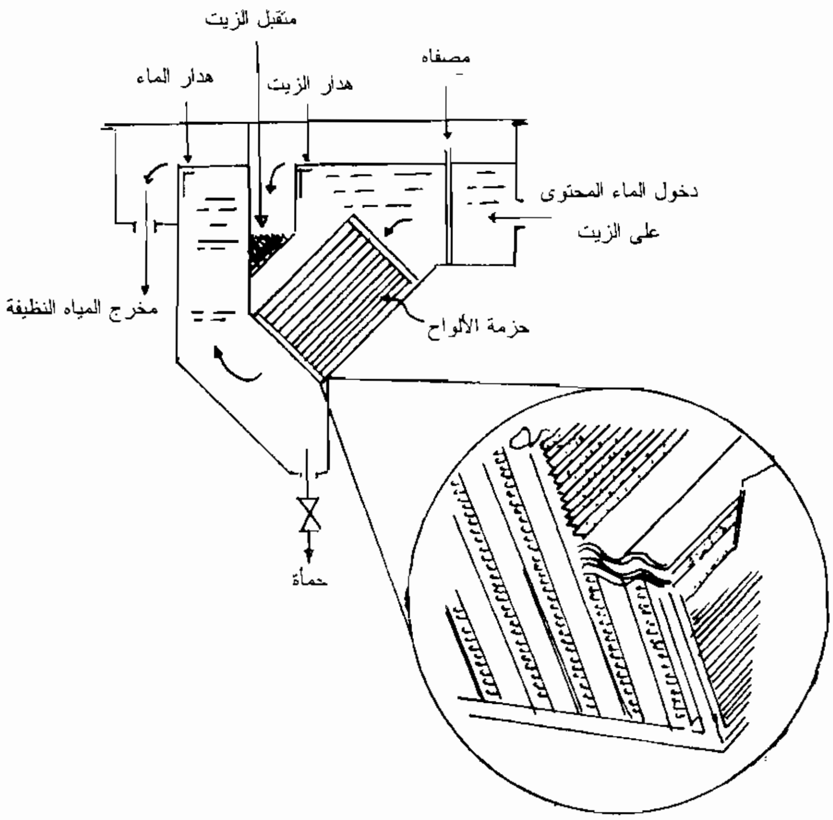
شكل (١٠/٨) فصل الزيت عن الماء باستخدام البلاستك المطاط (الفوم)

٣- أجهزة الفصل ذات المسار القصير Short Path Seperators

فى حالة الثبات، يميل الجسم المحجوز فى الماء للصعود أو الهبوط بمعدل ثابت يسمى السرعة الإنتهائية أو النهائية. لذلك فإن زمن الفصل يتوقف على طول المسار الذى يجب أن يقطعه الجسم المحجوز للوصول إما إلى سطح السائل أو إلى قاع الخزان. فى أحواض الترسيب العادية أو أحواض الحجز يكون متوسط العمق لايقل عن ١ إلى ٢ متر. جسم بحجم ١٠ مليميكرون من مادة الطفلة كثافته ٢,٧ جرام/سم^{3} يلزم له أكثر من ثلاث ساعات ليصل إلى قاع الحوض بمسار واحد متر.

أجهزة الفصل ذات المسار القصير توفر منظومة من الألواح المتوازية أو الأنابيب المتوازية ذات القطر الصغير والقريبة من بعضها حيث تمر المياه من خلالها بدون أى إضطراب خلال هذه المساحات المحدودة فإن كل النقاط وحبيبات الحمأة لها فقط مسافة قصيرة (عادة ٤ إلى ١٠سم) لتصعد أو لترسب لتصل إلى

سطح صلب حيث تتركز توجد أجهزة الفصل بالألواح المائلة والمتوازية بتصميمات ميكانيكية مختلفة. كما توجد أجهزة فصل الزيت بالألواح المائلة والمتعرجة كما فى الشكل (١٠/٩). مميزات هذه الأجهزة أنها توفر الفصل بالتدفق خلال زمن قدره ١٥-٢٠ دقيقة، وهى نفس درجة الفصل التى يتم الحصول عليها فى حوض ترسيب كبير خلال ساعتين. وهذه لاتزيل الزيوت المستحلبة بدون إضافة كيماويات إزالة الاستحلاب.



الشكل النهائى لحزمة الألواح المتعرجة

شكل (١٠/٩) عناصر جهاز الفصل بالمسار القصير

٤ – الفصل بالطفو: (Separation by Flotation)

الطفو هو من التقنيات المستخدمة فى حقول البترول لتنظيف ماء الإنتاج. مبدأ التشغيل يتوقف على زيادة الطفو للزيوت والمواد الصلبة المحتجزة بالالتصاق بفقاعات الغاز.

فقاعات الغاز يتم إنتاجها بواسطة (١) تسليط الضغط على الماء الذى سبق تغذيته بغاز مذاب (٢) بالتشتت الميكانيكى للغاز فى الماء فى شكل دقيق جدا. الطريقة الأخيرة تسمى الطفو بالرغاوى أو الزبد وهى تستخدم على نطاق واسع فى عمليات إنتاج البترول.

الفصل الحادى عشر

الملاحــق

(أ) الإختبارات لمياه الصرف الصناعى

(ب) معايير الصرف للمخلفات على المسطحات المائية

(جـ) التقييـم لنتـائج الرصد والتحـاليل ومتطلبـات المعالجـة المسـبقة والمـيزان المادى

(د) القواعـد التصميميـة لتكنولوجيـا المعالجـة الكهروكيميائيـة لميـاه الصـرف الصناعى

(هـ) الكيماويات المستخدمة فى المعالجة الكيماوية للمياه

(و) الإدمصاص بالكربون المنشط

(ز) عمليات الغشاء

ملحق (أ)

الإختبارات لمياه الصرف الصناعى

قبل البدء فى عمليات المعالجة المسبقة أو الأولية أو النهائية فإنه يكـــون مـــن الضرورى التعرف على مكونات مياه الصرف وذلك بعمل الاختبـــارات اللازمـــة وكذلك يلزم معرفة معايير الصرف للمياه المعالجة على المسطحات المائية أو علـــى شبكة الصرف الصحى أو لاستعمالات أخرى.

اختبارات مياه الصرف وأخذ العينات:

الاختبارات الطبيعية

الاختبارات الكيميائية

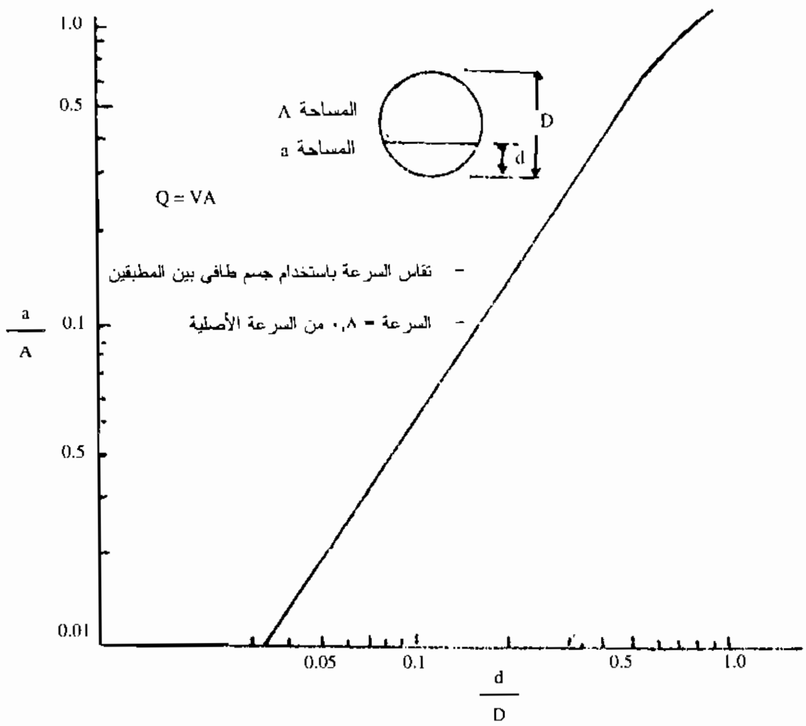
الاختبارات البيولوجية

الخطوة الأولى لاختبار مياه الصرف هو بأخذ العينات للاختبار. كل العينـــات التى يتم جمعها تحفظ فى مكان بارد حتى لاتتأثر بالأنشطة البكتيرية قبل الاختبـــار. يتم وضع بيان عن تاريخ ووقت جمع كل عينة، المصدر، التاريخ، مـــادة الحفـظ المضافة، القائم بعملية أخذ العينة.

الجدول التالى يوضح البيانات اللازمة لحفظ وتداول العينات لعمل الاختبارات

التحاليل المطلوبة	مادة وعاء حفظ العينة	مواد الحفظ ودرجة الحرارة	أقصى مدة زمنية للحفظ
الأملاح الكلية المذابة	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤°م	٧ يوم
المواد الصلبة العالقة	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤°م	٧ يوم
المواد الصلبة المتطايرة	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤°م	٧ يوم
الاكسجين الحيوى BOD	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤°م	٤٨ ساعة
الاكسجين الكيماوى COD	زجاج-بولى إثيلين	يضاف حامض الكبريتيك حتى (pH-2) عند ٤°م	٢٨ يوم
الأكسجين المذاب	زجاج	يعين فى الموقع	لازمن للحفظ
نيتروجين الأمونيا	زجاج-بولى إثيلين	يضاف حامض الكبريتيك حتى رقم هيدروجينى أقل من ٢ عند ٤°م	٢٨ يوم
نيتروجين النترات، النيتريت	زجاج-بولى إثيلين	يضاف حامض الكبريتيك حتى رقم هيدروجينى أقل من ٢ عند ٤°م	٢٨ يوم
الزيوت والشحوم	زجاج	يضاف حامض الكبريتيك حتى رقم هيدروجينى أقل من ٢ عند ٤°م	٢٨ يوم
كربون عضوى	زجاج-بولى إثيلين	يضاف حامض الكبريتيك حتى رقم هيدروجينى أقل من ٢ عند ٤°م	٢٨ يوم
الرقم الهيدروجينى	زجاج-بولى إثيلين	يعين فى الموقع	---
الفينولات	زجاج	يضاف حامض الكبريتيك حتى رقم هيدروجينى أقل من ٢ عند درجة حرارة	٢٨ يوم
التوصيل الكهربى	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤ م	٢٨ يوم
الكبريتات	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤ م	٢٨ يوم
الرائحة	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤ م	٧ يوم
العكارة	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤ م	٤٨ ساعة
اللون	زجاج-بولى إثيلين	التبريد عند ٤ م	٤٨ ساعة

لقياس معدل تدفق سوائل الصرف فى خطوط المواسير شكل (١/أ)



شكل (١/أ) تعيين التدفق فى الماسورة الممتلئة جزئيا ذات المقطع الثابت

درجة الحرارة

تقاس درجة حرارة مياه الصرف باستخدام الترمومترات العادية. يستفاد بقياس درجات الحرارة فى تعيين درجة التشبع بالمواد الصلبة المذابة والغازات المذابة فى الماء. وكذلك معدلات الأنشطة البيولوجية والكيماوية حيث تزداد مع إرتفاع درجات الحرارة بينما تكون ساكنة عند إنخفاض درجات الحرارة. يجب أن يكون ترموتمر القياس قادر على قراءة حتى ٠,١م.

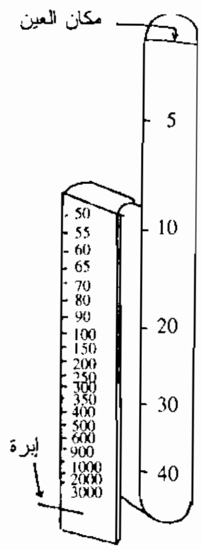
لقياس درجة الحرارة أعلا من ١٠٠°م كما فى حالة المفاعلات والغلايات يستخدم الثيرموكابل (Thermocouple).

العكارة:

تكون العكارة بسبب المواد الصلبة العالقة والمواد الهلامية وتقيم العكارة بالجزء فى المليون أو بالملجرام فى اللتر. وحدة القياس للعكارة هى العكارة الناتجة عن مليجرام من السيليكا فى لتر ماء. أو بمعنى آخى هى العكارة الناتجة عن جزء من السيليكا المطحونة صغيرة الحبيبات فى مليون جزء من الماء المقطر. تعين العكارة فى عينة الماء بالطرق الآتية:

<u>باستخدام عامود أو شريط العكارة</u> (Turbidity Rod or Tape)

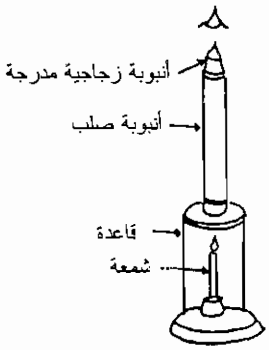
عامود العكارة عبارة عن عامود مدرج من الألومنيوم أو من الصلب، مثبت فى نهايته السفلى إبرة من البلاتين شكل (٢/أ). تكون العين عند النهاية العليا للعامود حيث توجد علامة توضح موضع العين مع وجود العين فى المكان المعين باستمرار وملاحظة الإبرة، يغمر العامود فى الماء. يتم إستمرار غمر العامود المدرج فى الماء مع استمرار ملاحظة الإبرة حتى إختفاء الإبرة من رؤية العين بسبب عكارة الماء. عندئذ يتم قراءة التدريج على العامود عند مستوى سطح الماء. العامود مدرج لإعطاء قراءة مباشرة للعكارة بالجزء فى المليون.



شكل (٢/أ) شريط قياس العكارة

جهاز جاكسون لقياس العكارة: (Jackson's Turbidimater) شكل (٣/أ)

يستخدم هذا الجهاز لقياس العكارة أكثر من ٥٠ جزء فى المليون. يتكون الجهاز من قاعدة معدنية ووعاء معدنى لأنبوبة مدرجة. تستخدم الشمعة القياسية أو البصيلة القياسية كمصدر للضوء. مصدر الضوء يوضع على مسافة معينة من قاع الوعاء المعدنى. لقياس عكارة الماء، فإنه يتم صب الماء ببطئ فى الأنبوبة المدرجة مع إستمرار رؤية ضوء الشمعة القياسية أو البصيلة القياسية من أعلا خلال الماء عند الوصول إلى مرحلة إختفاء مصدر الضوء عن النظر، يتم التوقف عن صب الماء وأخذ الأنبوبة القياسية المدرجة لإعطاء قراءة مباشرة. القراءة عند مستوى الماء فى الأنبوبة الزجاجية تكون هى مقياس لعكارة الماء شكل (٣/أ). كما توجد أجهزة أخرى لقياس العكارة.



شكل (٣/أ) جهاز جاكسون لقياس العكارة

الاختبارات الكيميائية:

تجرى الاختبارات الكيماوية طبقا لمصدر مياه الصرف ونوع الملوثات وهى تشمل عموما الآتى:

- المواد الصلبة الكلية – المتطايرة، العالقة.
- الأكسجين الحيوى المطلوب (Biological Oxygen - BOD).

- الأكسجين الكيماوى المطلوب (Chemical Oxygen - COD).
- السمية.
- الرقم الهيدروجينى.
- الأملاح المذابة.

طرق تعيين المواد الصلبة الكلية والمتطايرة:

يؤخذ حجم معلوم من عينة مياه الصرف مخلوطة جيداً فى طبق الحرق.

يتم التسخين حتى ثبات الوزن W_1

يتم تبخير العينة حتى الجفاف عند ١٠٣°م لمدة ٢٤ ساعة.

يتم التبريد فى المجفف ثم الوزن W_2

يتم الحرق عند ٦٠٠°م لمدة ٣٠ دقيقة فى فرن الحرق.

يتم التبريد فى المجفف وتسجيل الوزن النهائى (W_3)

المواد الصلبة الكلية والمواد الصلبة المتطايرة يتم حسابها كالآتى:

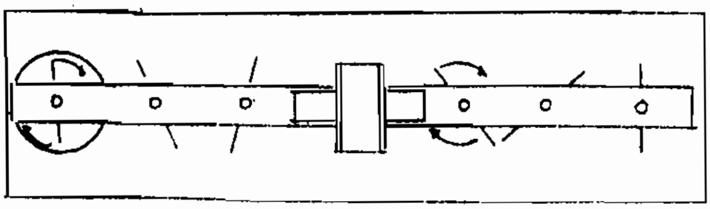
$$\text{المواد الصلبة الكلية} = \frac{١٠٠ \times (W_2 - W_1)}{\text{حجم العينة سم}^٣} = \text{ملجرام/لتر.}$$

حيث الأوزان W_1، W_2، W_3 يتم تسجيلها بالمجلرام / لتر.

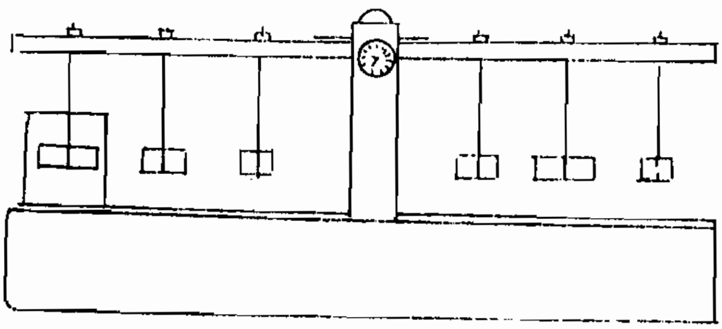
اختبار القنينه لتعيين جرعة المروب (Jar Test) شكل (٤/أ)

إن أفضل إختبار لتعيين جرعة المروب ولتعيين أفضل الظروف للترويب هو إختبار القنينه. إختبار القنينه وإن كان يتم بطريقة معملية إلا أنه يمثل الواقع. يتكون إختبار القنينة شكل (٤/أ) من قاعدة مضاءة معلق عليها عدة أزرع للخلط، عادة ستة أزرع متصلين بعامود إدارة واحد. يمكن تغيير سرعة الخلط لمحاكاة كلا من

الخلط السريع وعمليات الترويب. الترويب يتم محاكاته بإيقاف أزرع التقليب. فى إختبار القنينه يستخدم حتى ستة عينات منفصلة من مياه الصرف فى الجهاز. يتم تشغيل المحرك حيث تدور ريش التقليب بسرعة تقابل سرعة الخلط السريع لمحطة المعالجة الجارى محاكاتها. يستمر الخلط السريع. تضاف التركيزات المقترحة للمروب إلى القنينات المنفصلة (عادة عند بدء الاختبار). بعد تمام محاكاة الخلط السريع. يتم تبطئ القلابات لمحاكاة أزرع تقليب الترغيب. تكون الفترة الزمنية هى كذلك اللازمة للمرور خلال المزغبات (Flocculator). بعد تمام المرحلة، يتم إيقاف القلابات حيث تعطى الفرصة الزمنية لمدة ١٠ – ٣٠ دقيقة لرسوب الخليط أو لأى فترة زمنية لازمة للترسيب. تتم الملاحظ النظرية لخواص الترسيب لكل جرعة. يمكن إختبار المياه الرائقة فوق الراسب بالنسبة للعكارة واللون أو أى قياسات خاصة بإزالة المواد العالقة. من هذه الملاحظات يمكن تعيين أفضل جرعة يمكن استخدامها.



منظر علوى



منظر جانبى

شكل (٤/أ) إختبار القنينة

إختبار الأكسجين المذاب:

الأكسجين الموجود فى عينة الماء يؤكسد المنجنيز ثنائى التكافؤ إلى التكافؤ الأعلى والذى يرسب كأكسيد مائى بنى وذلك بعد إضافة إيدروكسيد الصوديوم وأيوديد البوتاسيوم (KI). مع إضافة حامض المنجنيز عالى التكافؤ يتحول إلى الثنائى حيث ينطلق اليود من أيوديد البوتاسيوم الذى يعادل الأكسجين المذاب فى الماء. يتم معايرة اليود الحر بواسطة ($Na_2 S_2 O_3$ - N/80) باستخدام النشا ككاشف. يلاحظ وجود تداخلات من أيون الحديديك، النيتريت، الكتل الميكروبية، المواد الصلبة العالقة بما يتطلب أن يؤخذ فى الاعتبار خفض هذه التداخلات.

الأكسجين الحيوى المطلوب (Biological Oxygen Demand - BOD)

وجود الاكسجين ضرورى لحياة الكائنات الحية الدقيقة. التحلل الهوائى للمواد العضوية يستمر مع وجود الاكسجين فى مياه الصرف، ومع نفاذ الاكسجين يبدأ التحلل اللاهوائى حيث يبدأ ظهور الرائحة المنفرة، لذلك فإن تحلل المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجى يحتاج إلى الاكسجين الذى تستخدمه الكائنات الحية الدقيقة الهوائية. مدة التحلل الهوائى تزداد بزيادة نسبة الاكسجين اللازمة للأكسدة البيولوجية للمواد القابلة للتحلل البيولوجى عند درجة حرارة معينة خلال فترة زمنية محددة. ينشط التحلل الهوائى بإرتفاع درجة الحرارة ويقل بانخفاضها. لذلك فإنه يلزم تحديد درجة الحرارة والوقت أثناء إختبارات الأكسجين الحيوى المطلوب. لقد أثبتت الإختبارات أن التحلل الهوائى للمواد العضوية يتم فى مرحلتين، حيث يتم أولا أكسدة المواد الكربونية، أما المواد العضوية النيتروجينية فإنها تتحلل فى المرحلة التالية.. فى المرحلة الأولى يكون الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD) حوالى ٩٠% من إجمالى الأكسجين الحيوى المطلوب. لهذا فإن الإهتمام يكون فقط

بالمرحلة الأولى والتى تستغرق فقط خمسة أيام ولذلك سمى الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD5).

إختبار الاكسجين الحيوى (BOD5)

الأكسدة الكاملة للمادة العضوية تستغرق ٢-٣ شهر ولكن خلال عشرة أيام يستنفذ حوالى ٩٠% من الأكسجين الحيوى، وبعد ذلك ينخفض معدل إستهلاك الأكسجين فى المعمل عادة يتم إختبار BOD خلال ٥ يوم حيث خلال هذه المدة يستنفد ٧٠% من الأكسجين الحيوى.

لعمل الإختبار فإن عينة مياه الصرف الخالية من المواد الحافظة يتم تخفيفها فى الماء بنسبة ١:١٠٠ (أى جزء من مياه الصرف، ٩٩ جزء من الماء. الماء المستخدم فى التخفيف به أكسجين زائد ومذاب والذى يتم تحديده قبل التجفيف. يتم وضع العينة المخففة فى حضانة عند متوسط درجة حرارة ٢٠٠ م لمدة ٥ أيام. تعين كمية الأكسجين المذاب بعد التحضين. الفرق بين كمية الأكسجين الموجود فى الماء أولا وفى نهاية التحضين هى كمية الاكسجين الحيوى المطلوب لمياه الصرف أحيانا وللحصول على نتائج أكثر دقة فإنه يتم كذلك تحضين عينة من الماء المستخدم فى عملية التخفيف فى نفس الحضانة جنبا إلى جنب مع مياه الصرف لمدة ٥ أيام. الإختلاف فى المحتوى من الأكسجين المذاب فى عينة ماء الصرف وماء التخفيف بعد التحضين هو الأكسجين الحيوى المطلوب لمياه الصرف.

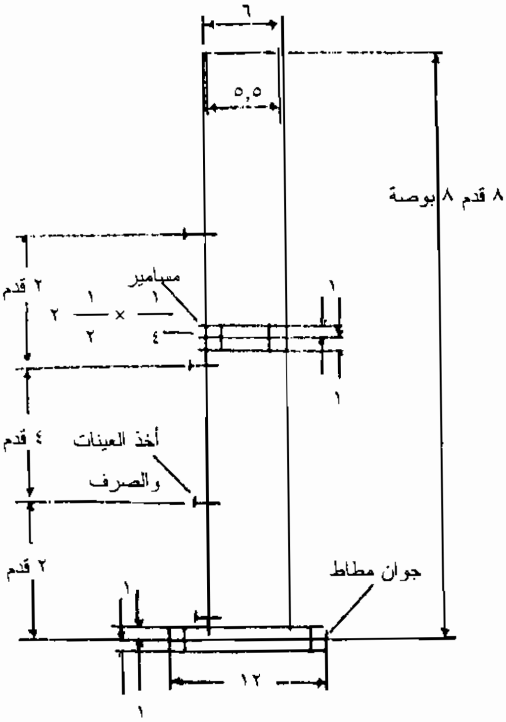
الأكسجين الكيماوى المطلوب (COD)

هذا الاختبار هو قياس للأكسجين المطلوب لأكسدة المواد العضوية التى تتأكسد بيولوجيا وتلك التى لاتتأكسد بيولوجيا (Refractory). تستغرق تجربة تعيين

الأكسجين الكيماوى المطلوب ٥ ساعات بخلاف تجربة تعيين الاكسجين الحيوى المطلوب والتى تستغرق ٥ أيام فى هذا الاختبار تتأكسد المادة العضوية تماما بواسطة مادة بوتاسيوم داى كروميت ($K_2 Gr_2 O_7$) فى وجود حامض الكبريتيك لإنتاج ثانى أكسيد الكربون والماء. وقد تستخدم فى أكسدة المواد العضوية كذلك مادة برمنجنات البوتاسيوم، حيث الزيادة فى برمنجنات البوتاسيوم المتبقية بعد التفاعل يتم معايرتها باستخدام $F_e (NH_4)_2 (SO_4)_2$. المستهلك من الداى كروميت أو البرمنجنات بين الأكسجين اللازم للأكسدة الكيماوية لكل المواد العضوية الكربونية القابلة وغير القابلة للتحلل البيولوجى.

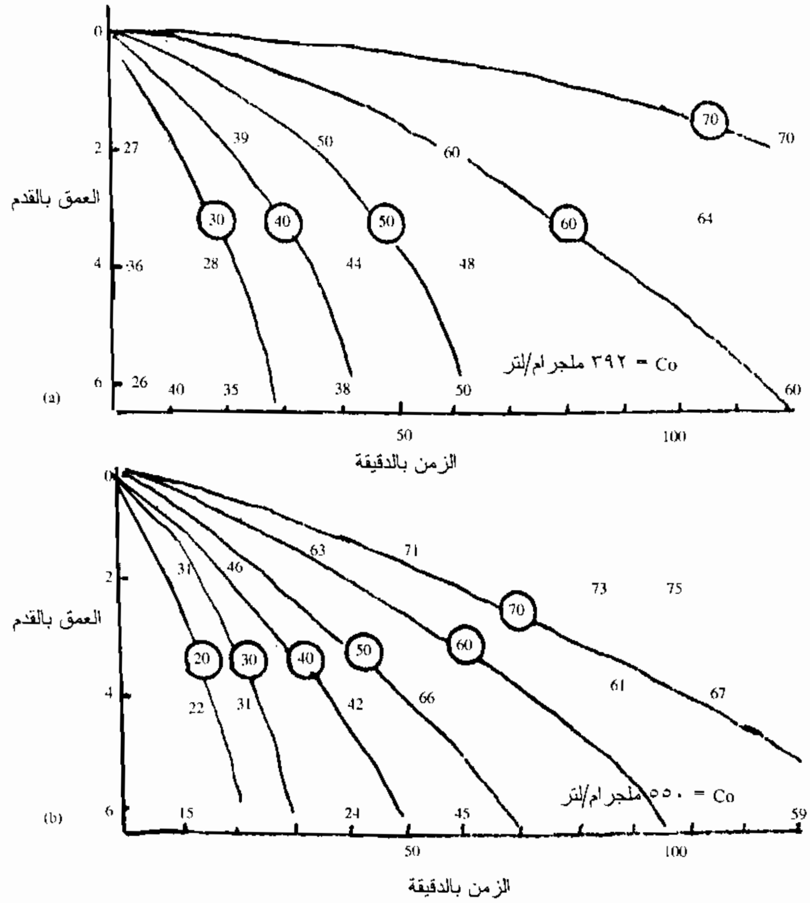
<u>إختبار تعيين سرعة الترسيب والتحميل السطحى:</u>

يتم الاختبار المعملى لدراسة الترسيب فى عامود من النوع الموضح فى الشكل (٥/أ). أقل قطر للعامود ٥ بوصة (١٢,٧سم). يكون الصنبور بفواصل ٢ قدم من العمق. يجب أن يكون تركيز المواد الصلبة العالقة متجانس مع بدء الاختبار، دفع الهواء من قاع العامود لعدة دقائق يحقق هذا التجانس. من المهم كذلك ثبات درجة الحرارة أثناء فترة الاختبار لمنع حدوث تداخلات الترسيب بالتيارات الحرارية. تعين المواد الصلبة العالقة من العينات التى يتم سحبها عند فترات زمنية معنية حتى ١٢٠ دقيقة. البيانات التى يتم جمعها من أعماق ٢ قدم، ٤ قدم، ٦ قدم تستخدم لتعيين العلاقة بين معدل الترسيب والوقت.



شكل (٥/أ) عامود ترسيب معملى لتقييم الترسيب

النتيجة المتحصل عليها يعبر عنها بنسبة الإزالة للمواد الصلبة العالقة عند كل صنبور والفترة الزمنية. يتم توقيع هذه الإزالات مقابل الأعماق والأوقات كما هو موضح فى الشكل (٥/أ). يتم رسم منحنيات لتوصيل النقاط ذات الإزالة المتساوية. المنحنيات التى تم توقيعها مثل أقصى ممر ترسيب للنسبة المئوية الموضحة، أى أن النسبة المئوية المحددة للمواد الصلبة العالقة سيكون لها ممر ترسيب مساوى أو أكبر عند الموضح، ولذلك سيتم إزالتها فى حوض ترسيب مثالى لنفس العمق وزمن المكث. حساب الإزالة يمكن توضيحه من البيانات فى الشكل (٦/أ).



شكل (٦/أ) علاقات الترسيب للمروب

معدل التدفـق السطحى V_o هو العمق المؤثر ٦ قـدم مقسوما علـى الزمـن اللازم لنسبة معطاه لترسب هذه المسافة. كل الحبيبات ذات سرعة ترسيب مساوية أو أكبر من V_o سوف تزال فى حوض ترسيب له معدل تدفق سطحى V_o. الأجسام ذات سرعة ترسيب أقل V سوف تزال بنسبة $\frac{V}{V_o}$. مثال بالإشارة إلى الشكل (٦/أ – a) عند زمن مكث ٦٠ دقيقة، عند عمق ترسيب ٦ قدم فإن V_o = ٦ قدم فى

الساعة، يزال ٥٠% من المواد الصلبة العالقة تماماً، أى أن ٥٠% من الأجسام لاسرعة ترسيب تساوى أو أكبر من ٦ قدم فى الساعة.

الجسيمات فى كل ١٠% إضافية ستزال بنسبة $\frac{٧}{٧_٥}$ أو بنسبة متوسط عمق الترسيب إلى كل العمق ٦ قدم. متوسط العمق الذى تم عنده ترسيب ٥٠% – ٦٠ فى الشكل (٥/أ) هو ٣,٦ قدم. نسبة الإزالة لهذا الجزء هى لذلك $\frac{٣,٦}{٦}$ أو ٦٣% من الـ ١٠%. كل نسبة تالية يتم حسابها بنفس الطريقة.

إجمالى الإزالة للمواد الصلبة العالقة بنسبة ٦٢% تتم عند معدل تدفق سطحى ٦ قدم / الساعة = ١٠٨٠ جالون/اليوم. القدم المربع [٤٤ متر مكعب فى اليوم على المتر المربع] وعند زمن مكث ٦٠ دقيقة. بنفس الطريقة يمكن حساب مختلف نسب الإزالة، معدلات التدفق اللازمة لها، وزمن المكث.

نظراً لأن النتائج المعملية تمثل حالة ترسيب مثالية، حيث يلزم أن يؤخذ فى الإعتبار عند التصميم تأثيرات الاضطراب، قصر المسافة، الفقد عند الدخول وعند الخروج. النتيجة النهائية لهذه العوامل هو خفض معدل التدفق وزيادة زمن المكث عن نتائج الاختبار المعملى. كقاعدة عامة يتم خفض معدل التدفق بمعامل ١,٢٥ إلى ١,٧٥ وزمن المكث يزداد بمعامل ١,٥ إلى ٢.

الإختبارات البيولوجية:

الإختبارات البيولوجية لمياه الصرف ومسطحات المياه الطبيعية تتم لتعيين أنواع البكتريا والحياة البيولوجية. تتم الاختبارات البيولوجية باستخدام الميكروسكوب، حيث يسمح للبكتريا بالنمو والتكاثر فى ظروف بيئية مناسبة وفى مجال الإستنبات (Culture media). مجال الاستنبات يمكن أن يكون صلب أو سائل. يتم إضافة مياه الصرف فى مجال الاستنبات والوضع فى حضان (Incubator) عند

درجة حرارة معينة مناسبة لنمو وتكاثر البكتريا. تبدأ البكتريا فى تكوين تجمعات (Colonies) من سلالة الخلايا فى المجال الصلب حيث يمكن رؤيتها بالميكروسكوب. نوع البكتريا يتم مشاهدته مباشرة بالميكروسكوب كما يمكن قياس أبعادها باستخدام الميكرومیتر (Stage Micrometer). بعض مجموعات معينة من البكتريا تنتج تغيرات معينة فى وسط الاستنبات الصلب مثل إنطلاق غاز أو التغير فى اللون. التنقية الذاتية للماء تعتمد مباشرة على وجود البكتريا، الفطريات، طحالب البروتوزوا...الخ. وجود الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض يوضح درجة التلوث للمجال المائى.

ملحق (ب)

معايير الصرف للمخلفات

مادة ٦٦ من القانون ٤٨/١٩٨٩:

أ- فى الصرف على مسطحات المياه غير العزبة:

يجب أن يتوفر فى مياه الصرف الصحى والمخلفات الصناعية السـائلة التـى يرخص بصرفها إلى مسطحات المياه الغير عزبة المعايير والمواصفات فى الجدول التالى:

الجدول التالى يوضح معايير الصرف على المجارى المائية غير العزبة

البيـــــان	مياه صرف صحى	مياه صرف صناعى
درجة الحرارة	لاتزيد عن ٣٥°م	لاتزيد عن ٣٥°م
الرقم الهيدروجينى	٦-٩	٦-٩
الاكسجين الحيوى المطلوب	لايزيد عن ٦٠ ملجرام/لتر	لايزيد عن ٦٠ ملجرام/لتر
الأكسجين الكيماوى المطلوب		
الداى كرومات	لايزيد عن ٨٠ ملجرام/لتر	لايزيد عن ١٠٠ ملجرام/لتر
البرمنجنات	لايزيد عن ٤٠ ملجرام/لتر	لايزيد عن ٥٠ ملجرام/لتر
الأكسجين المذاب	لايقل عن ٤ ملجرام/لتر	ــــ
الزيوت والشحوم	١٠	١٠
المواد العالقة	٥٠	٦٠
المواد الملوثة	خالية من المواد الملوثة	
الكبريتيدات	١	١

البيـــــــان	مياه صرف صحى	مياه صرف صناعى
السيانيد	---	٠,١
الفوسفات	---	٠,١
النترات	٥٠	٤٠
الفلوريدات	---	٠,٥
الفينول	---	٠,٠٠٥
مجموعة المعادن الثقيلة	١	١
المبيدات	---	---
القولونيات فى ١٠٠سم^{٣}	٥٠٠٠	٥٠٠٠

وفى حالة صرف مياه الصرف الصحى أو مخلفات صناعية سائلة مختلطه بمياه الصرف الصحى إلى مسطحات المياه غير العزبة فإنه يجب بناءا على طلب الجهة الصحية المختصة معالجة المياه المنصرفة بالكلور للتطهير قبل صرفها بحيث لايقل الكلور المتبقى بعد ٢٠ دقيقة من إضافته عن ٠,٥ ملجرام فى اللتر. وبحيث أن تكون أجهزة ومواد التطهير جاهزة للعمل بصفة مستمرة لإنجاز هذه المعالجة عند طلب إجرائها. كما يجب أن تبقى مسطحات المياه غير العزبة التى يرخص بصرف المخلفات السائلة المعالجة إليها فى حدود المعايير والمواصفات كما فى الجدول التالى:

الجدول التالى يوضح معايير ومواصفات مسطحات المياه غير العزبة التى يجب أن تبقى عليها بعد صرف المخلفات السائلة المعالجة إليها

البيـــــــان	المعاييـــــــر
درجة الحرارة	لاتزيد عن ٥°م فوق المعدل السائد
الاكسجين المذاب	لايقل عن ٤ ملجرام/لتر فى أى وقت
الرقم الهيدروجينى	لايقل عن ٦,٥ ولايزيد عن ٨
المنظفات الصناعية	لاتزيد عن ٠,٥ ملجرام/لتر
الفينول	لايزيد عن ٠,٠٠٥ ملجرام/لتر
العكارة	لاتزيد عن ٥٠ وحدة
المواد الصلبة المذابة	لاتزيد عن ٦٥٠ ملجرام/لتر
العد الإحتمالى للمجموعة القولونية فى ١٠٠سم^{٣}	لايزيد عن ٥٠٠٠

وفى حالة صرف المخلفات السائلة إلى البحيرات فإنه يجب مراعاة ألا يزيد عدد البكتريا القولونية عن ٧٠ لكل ١٠٠سم^{٣} من مياه البحيرة، كما يجب ألا يزيد عددها عن ٢٣٠ لكل ١٠٠سم^{٣} فى $\frac{١}{١٠}$ من العينات المأخوذة من مياه البحيرة فى موسم الصيد وذلك لعدم تأثير هذه المخلفات على الثروة السمكية.

ب- المعايير والمواصفات الواجب توافرها فى المخلفات السائلة التى يرخص بصرفها فى المجارى العامة سواء كان الصرف من الأنشطة التجارية أو الصناعية هى:

- درجة الحرارة لاتزيد عن ٤٠°م.
- الرقم الهيدروجينى ما بين ٦-١٠.
- المواد المذابة لاتزيد عن ٢٠٠٠ ملجرام/لتر.
- لاتزيد المواد العالقة القابلة للترسيب عن ٥٠٠ ملجرام/لتر.
- وبحيث لاتزيد المواد الصلبة الراسبة عن ٥سم^{٣} فى اللتر فى ١٠ دقائق ولاتزيد عن ١٠سم^{٣} فى اللتر فى ٢٠ دقيقة.
- لايزيد الأكسجين الحيوى عن ٤٠٠ جزء فى المليون.
- لايزيد الاكسجين الكيماوى (الداى كرومات) عن ٧٠٠ جزء فى المليون.
- لايزيد الاكسجين الكيماوى (البرمنجنات) عن ٣٥٠ جزء فى المليون.
- لايزيد الكبريتيد عن ١٠ جزء فى المليون مقدرا على أساس الكبريت.
- لايزيد السيانيد عن ٠,١ جزء فى المليون.
- لايزيد الفوسفات عن ٥ جزء فى المليون.
- لاتزيد النترات عن ٣٠ جزء فى المليون.
- لاتزيد الفلوريدات عن ١ جزء فى المليون.

- لايزيد الفينول عن ٠,٠٠٥ جزء فى المليون.
- لاتزيد الأمونيا عن ١٠ جزء فى المليون.
- لايزيد الكلور الحر عن ١٠ جزء فى المليون.
- لايزيد ثانى أكسيد الكبريت عن ١ جزء فى المليون.
- لايزيد الفورمالدهايد عن ١٠ جزء فى المليون.
- لاتزيد نسبة الشحوم والزيوت عن ١٠٠ جزء فى المليون.
- الفضة، الزئبق، النحاس، النيكل، الزنك، الكروم، الكادميوم، الزنك. يجب ألا تزيد نسبتهم منفردة لكل منهم أو متجمعه عن ١٠ جزء فى المليون إذا لم يتجاوز حجم المخلفات المنصرفة ٥٠ متر مكعب فى اليوم. ولاتزيد عن ٥ جزء فى المليون فى حالة زيادة حجم المخلفات المنصرفة إلى شبكة المجارى عن ٥٠ متر مكعب فى اليوم.
- ألا يزيد مجموع الفضة والزئبق عن ١ جزء فى المليون.
- كما يجب أن تخلو المخلفات السائلة من المواد المتطايرة والمذيبات العضوية وأى مواد قابلة للإشتعال وأى مواد متلفه للشبكة أو لمحطة المعالجة أو ملوثة. كما يجب أن تخلو من أى مبيدات أو مواد مشعة ولو بكميات صغيرة جداً.

ملحق (ج)

التقييم لنتائج الرصد والتحاليل ومتطلبات المعالجة المسبقة والميزان المادى

تقييم كمية وتركيز مياه الصرف الصناعى بالوحدات من الملوثات لكل وحدة من المنتج. فمثلاً، فى صناعة الصلب فإن أحد القياسات لمياه الصرف الصناعى الملوثة بالسيانيد هو كيلو جرام من السيانيد لكل كيلو جرام من الصلب المنتج، وفى صناعة الورق ولب الورق يقيم التلوث البيولوجى بالكيلوجرام من الأكسجين الحيوى (BOD) لكل طن من لب الورق المنتج. باستخدام هذه الوحدات يمكن تقييم تركيز الملوثات فى مياه الصرف الصناعى. وإن كانت المعايير المقررة هى بقياس الملوثات كجزء فى المليون من مياه الصرف الصناعى.

١- المعالجة المسبقة: Pertreatment

أ- فى الصرف على مسطحات المياه غير العزبة:

على ضوء نتائج الرصد والتقييم تتم عمل الخطوة الأولى وهى المعالجة المسبقة. تتوقف درجة ونوع المعالجة المسبقة على المعالجة التالية وطريقة التخلص النهائى من المخلفات. فمثلا المعالجة المسبقة التى تسبق الاستعمالات الأرضية للمياه قد تتكون ببساطة من إستخدام المصافى أو إزالة المواد الصلبة العالقة،

بالمقارنة فإن المعالجة المسبقة قبل الصرف على شبكات الصرف الصحى قد تتطلب معالجة طبيعية (استخدام المصافى وأحواض حجز الرمال وأحواض الترسيب الأولى)، معالجة بيولوجية ومعالجة كيميائية. وقد تكون ببساطة لضبط الرقم الهيدروجينى، وإزالة المواد الصلبة العالقة أو بعض العمليات الأخرى وهذه تتم أحيانا عند إعادة استخدام المياه فى العمليات الصناعية واستعادة المواد المذابة والمواد العالقة.

ضوابط المعالجة المسبقة التى تتم داخل المصنع لإزالة الملوثات من مياه الصرف الصناعى بما يسمح بمعالجتها فى محطات المعالجة لمياه الصرف الصحى، حيث أوصت منظمة حماية البيئة (EPA) بتقدير حدود المعالجة المسبقة لنوع معين من الملوثات كالآتى:

$$Y = \frac{X}{1 - R}$$

حيث:

Y = قيمة الملوث فى مياة الصرف الصناعى بعد المعالجة المسبقة بالملجرام/لتر.

X = قيمة الملوث فى مياه الصرف بعد المعالجة فى محطة معالجة مياه الصرف الصحى والتى يسمح بصرفها على المسطحات المائية غير العزبة طبقا للمعايير المقررة بقانون البيئة ٩٤/٤.

R = قيمة قدرة مخطة المعالجة على إزالة الملوث. تقيم برقم عشرى.

مثال:

إذا كان الحمل العضوى لملوث فى مياه الصرف المعالجة طبقاً للمعايير المقررة هو ٨٠ جزء فى المليون بالنسبة للأكسجين الكيماوى المطلوب (COD)،

وكانت قدرة محطة المعالجة فى الإزالة هى ٦٠%. فإن المعالجة المسبقة يجب أن تحقق قيمة هذا الملوث قبل دخولها محطة معالجة مياه الصرف الصحى وبعد المعالجة المسبقة كالآتى:

$$Y = \frac{80}{1 - 0.6} = \frac{80}{0.4} = 200 \text{ Mg/L}$$

أى أنه يجب عدم زيادة الحمل العضوى (COD) مقيسم كأكسجين كيماوى مطلوب عن ٢٠٠ ملجرام/لتر.

عمليات المعالجة المسبقة تشمل:

عمليات طبيعية وهى:

- تنظيم وتسوية التدفقات داخل المصنع (Equalization).
- إزالة المواد العالقة والطافية.

عمليات كيماوية وتشمل:

- ضبط الرقم الهيدروجينى بالتعادل.
- إزالة المعادن الثقيلة.

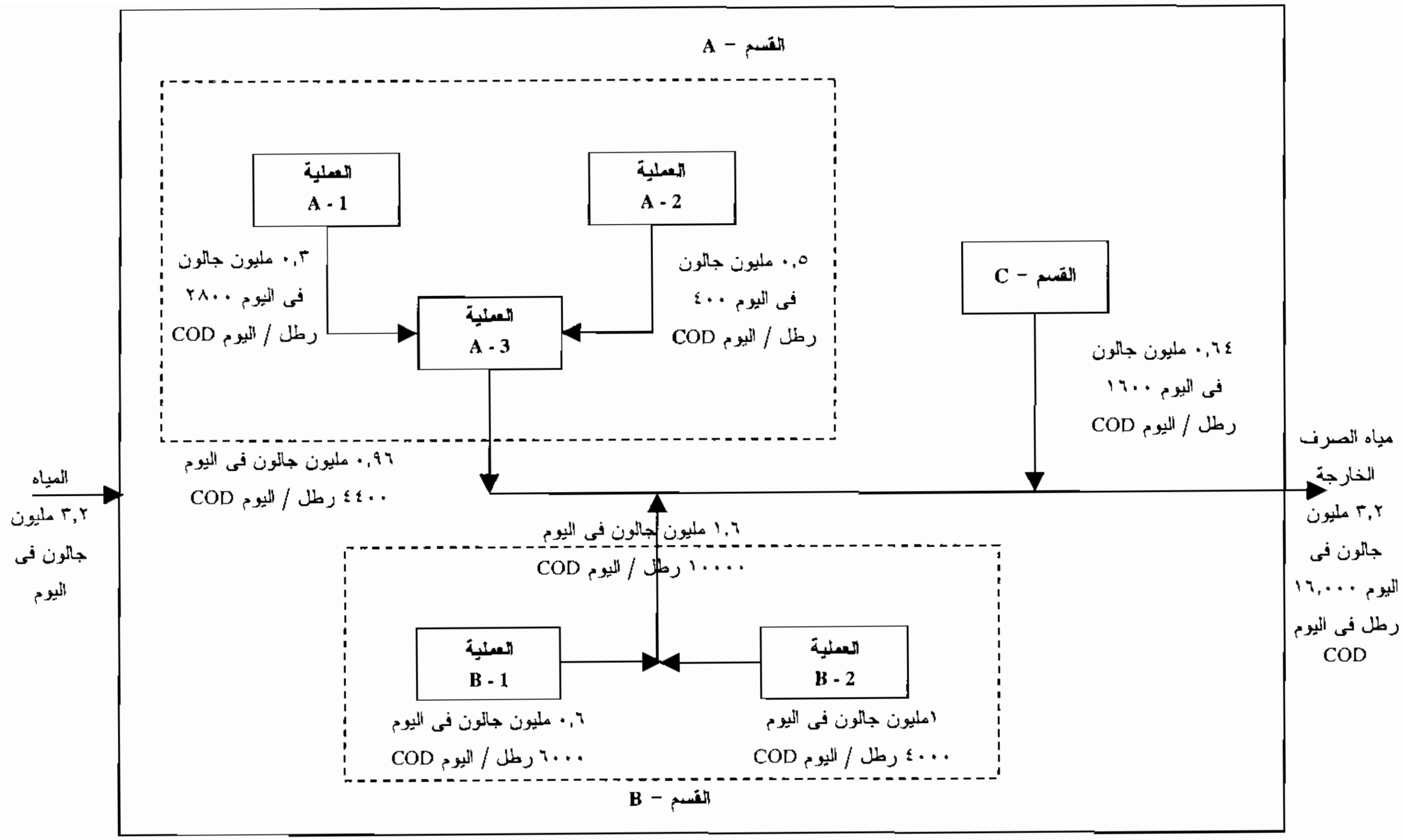
عمليات بيولوجية:

- إزالة/خفض الملوثات من المواد العضوية.

٢- الميزان المادى: Material Balance

مثال لعمل الميزان المادى كما فى الجدول التالى: من الشكل (١/ج) الذى يوضح التدفقات والأحمال من الملوثات نتيجة المباحث الحقلية.

المصـــــدر	التدفق مليون جالون فى اليوم	النسبة المئوية للكلى	COD ملجرام/لتر	COD رطل فى اليوم	النسبة المئوية للكلى
القسم A					
العملية A-1	٠,٣	٩,٤	١١٠٠	٢٨٠٠	١٧,٥
العملية A-2	٠,٥	١٥,٦	١٠٠	٤٠٠	٢,٥
العملية A-3	٠,١٦	٥,٠	٩٠٠	١٢٠٠	٧,٠
إجمالى	٠,٩٦	٣٠	٥٤٠	٤٤٠٠	٢٧
القسم B					
العملية B-1	٠,٦	١٨,٨	١٢٠٠	٦٠٠٠	٣٨
العملية B-2	١	٣١,٢	٤٨٠	٤٠٠٠	٢٥
إجمالى	١,٦	٥٠	٧٥٠	١٠٠٠٠	٦٣
القسم C	٠,٤٦	٢٠,٠	٣٠٠	١٦٠٠	١٠,٠
إجمالى المصنع	٣,٢	١٠٠	٦٠٠	١٦٠٠٠	١٠٠



شكل (ملحق ج) مثال للتدفق وللأحمال من الملوثات للميزان المادى نتيجة المباحث الحقلية

ملحق (د)

القواعد التصميمية لتكنولوجيا المعالجة الكهروكيميائية لمياه الصرف الصناعى

تستخدم الطرق الكهروكيميائية فى معالجة مياه الصرف الصناعى فى العمليات الآتية:

- الترويب Coagulation.
- الطفو.
- الطفو والترويب.
- الأكسدة.

حيث يستخدم لذلك أحواض التحليل الكهربى التى تعمل بالتيار الثابت ويكون الآنود (+) من معدن قابل للإذابة أو غير قابل للإذابة، ويكون الكاثود (-) من معدن أو من الجرافيت. ويكون سائل الاليكتروليت هو مياه الصرف الصناعى مضاف إليها كمية قليلة من كلوريد الصوديوم.

١- القوانين الكهروكيميائية المنظمة للتحليل الكهربى بالتيار الثابت:

العلاقة بين كمية المواد التى تذوب من معدن الآنود وكمية التيار الثابت المار خلال الدائرة تقدر بقانونى فارادى للتحليل الكهربى التى تنص على الآتى:

(١) كمية المواد المختلفة التى تتحرر عند الأقطاب تتناسب مع كميـــة التيـــار المار خلال المحلول.

(٢) كمية المواد المختلفة التى تتحرر عند الأقطاب بنفس كمية التيار الكـــهربى تتناسب مع تكافؤها الكيميائى. أى أن كمية الكهرباء التى يجب مرورهـــا لتحرير جرام واحد مكافئ من أى مادة عند القطب هى ٩٦٥٠٠ كولومـب = ١ فارادى (IF) 96500 Coulombs = 1 Faraday.

يمكن تلخيص قوانين فارادى رياضيا كالآتى:

$$q = e \times I \times T \qquad (1)$$

حيث

q = كمية المادة التى تحررت عند الآنود.

e = هو حاصل قسمة المكافئ بالجرام على ٩٦٥٠٠ وهو مايعرف بالمكـــافئ الكهروكيميائى للمادة أو بعدد الجرامات التى تتحرر عند القطـــب بواحـــد كولومب من الكهرباء.

I = شدة التيار بالأمبير.

T = الوقت بالثانية.

(٣) تنشيط التحليل الكهربى: (Acceleration of Electrolysis) قوة التيار فـــى الدائرة الكهربية وكذلك فرق الجهد يجب أن يؤخذ فى الاعتبار فى عمليـــة التحليل الكهربى.

باستخدام قانون أوم فإن قوة التيار تتناسب طرديا مـــع الفولـــت المســـتخدم أو الجهد (E) وتتناسب عكسيا مع المقاومة (R).

ولكن فى حالة المحلول الاليكتروليتى فإنه يجب أن يؤخذ فى الإعتبار فرق جهد الاستقطاب والذى يعارض التيار حيث يلزم طرحه من الجهد المستخدم وذلك عند حساب جهد التيار. ذلك لأن جهد التحلل (Decomposition - Voltage) لإلكتروليت سائل معين فإن قانون أوم فى هذه الحالة يمثل بالمعادلة:

$$I = E - ED / R \qquad (2)$$

يلاحظ أن كثافة التيار بخلاف القيمة الكلية لشدة التيار هى التى تعمل بوضوح فى سائل الإلكتروليت. كثافة التيار هى النسبة ما بين شدة التيار بالأمبير إلى مساحة الأقطاب أما بالبوصة المربعة أو السنتيمتر المربع أو الديسيمتر المربع الذى عنده يتحرر العنصر المعين.

فعندما تكون شدة التيار واحد أمبير ومساحة الكاثود ١٠٠سم^{٢} فإن كثافة التيار عند الكاثود هى ٠,٠١ أمبير/سم^{٢}. من الناحية العملية فإن الوقت اللازم للتحليل فى المعادلة (١) وفرق الجهد فى المعادلة (٢) يكون أكبر مما هو موضح فى المعادلتين. لذلك فإنه يجب عمل تجارب نصف صناعية لتحقيق أقصى كفاءة.

لتعيين كثافة التيار فإنه يجب معرفة مساحة القطب. إذا كان القطب فى شكل لوح مستطيل أو فى شكل أسطوانة مفرغة فإن مساحته تكون ضعف مساحة وجه التيار للمستطيل أو للأسطوانة.

مساحة قطب من الشبك المعدنى (Wire Mesh Electrode) يمكن حسابه بدقة كافية من الناحية العملية بالمعادلة الآتية:

$$S = 2\ \Pi\ d\, l\, b\ \sqrt{n}$$

حيث:

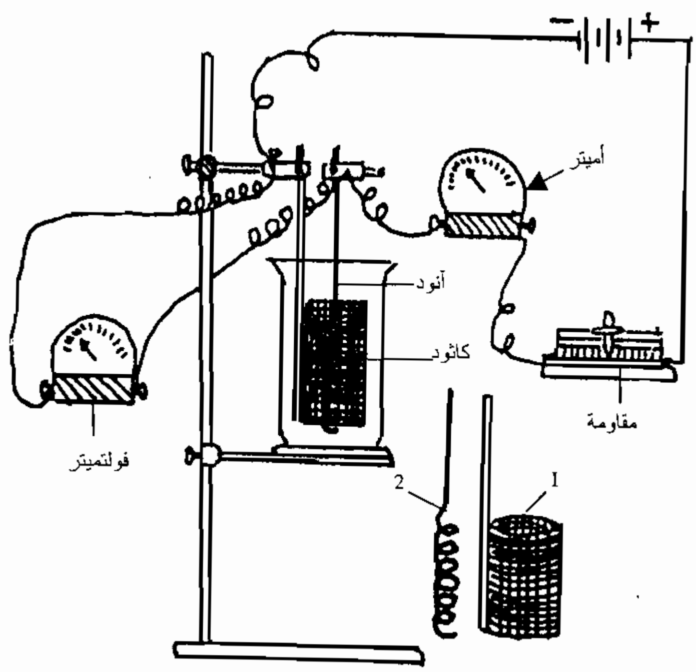
d = سمك سلك الشبك المعدنى.

I = طول الفتحة.

b = عرض الفتحة.

n = عدد التقاطعات للأسلاك فى السنتيمتر المربع.

يجب ملاحظة أنه فى حالة زيادة كثافة التيار فإن الترسيبات المذابة من الآنود تكون أسفنجية وتلتصق على سطح الآنود (مع كبر السطح أى سهلة الأكسدة بأكسجين الهواء الجوى الشكل (١/د).



شكل (١/د) نموذج معملى لبطارية المعالجة الكهروكيميائية

٢- عملية الترويب الكهروكيميائية:

عند وجود ملوثات فى الماء فى شكل مواد هلاميـــة وغروبـــه منتشـــره يتـــم معالجتها بتمرير مياه الصرف خلال جهاز التحليل الكهربى حيث يكون الآنود مـــن الألومنيوم أو من الحديد الخردة. يتأين معدن الآنود تحت تأثير التيار الثابت حيـــث ينتقل إلى مياه الصرف ويختلط بها، عندئذ يحدث ترويب لجسيمات الملوثات العالقة الهلامية مع إيدروكسيدات الحديد أو الألومنيوم التى تكونت فى الماء. إذابة جـــرام واحد من الألومنيوم فى الماء يعادل إضافة ٦,٣ جرام من كبريتات الألومنيوم، إذابة جرام واحد من الحديد يعادل إضافة ٢,٩ جرام من كلوريد الحديديك، ٣,٦ جرام من كبريتات الحديديك. القدرة الكهربية النظرية لإذابة جرام واحد من الألومنيـــوم هـــو ١٢ وات فى الساعة، ١٢ وات فى الساعة لإذابة جرام واحد من الحديد. يوصـــــى بكثافة تيار لاتزيد عن ١٠ أمبير على السنتيمتر المربع، بحيث لاتزيد المسافة بيـــن الأقطاب عن ٢سم ومعدل تدفق المياه بين الأقطاب لاتقل عن نصف متر فى الثانية. طـــريقة الترويب الكهروكيميائى يمكن أن تستخدم لمعالجة ميـــاه الصـــرف التـــى تحتوى على جسيمات من الزيوت والشحوم، المنتجات البترولية والمـــواد العالقـــة بنسبة ٠,٣ – ٧,٥ جرام فى اللتر بالتتالى فى منشآت الترويب الكهروكيميائى حيـث يكون التيار الثابت المار بكثافة ٠,٦ أمبير / ديسيمتر مربع وعند فرق جـــهد ١٠ – ١٨ فولت حيث تصل كفاءة التنقية إلى ٩٩%.

٣- عملية الطفو الكهروكيميائية:

نظريـــة المعالجة بالطفو الكهروكيميائى تبنى علـــى أســـاس نقـــل جســـيمات الملوثات العالقة من السائل إلى سطح السائل فى فقاعات الغاز التى تتكون بعمليـــة التحليل الكهربى للماء. أثناء عملية التحليل الكهربى يتصاعد غاز الهيدروجين عنـــد الكاثود كما يتصاعد غاز الأكسجين عند الآنود. الدور الرئيسى لعملية طفو الأجسام

العالقة تتم بواسطة فقاعات الهيدروجين، التى تكونت عند الكانود. إستخدام الكـــانود من نسيج السلك المعدنى (Wire Mesh) يقلل من حجم الفقاعات وبالتالى يزيد مــــن كفاءة المعالجة بالطفو الكهروكيميائى.

٤- عملية الترويب والطفو الكهروكيميائى:

فى هذه العملية تستخدم أقطاب الآنودات من مواد مذابة مثل الحديد والألومنيوم حيث يذوب معدن الآنـــود، بما ينتج عنه دخول أيونات الألومنيوم أو الحديد إلــــى مياه الصرف وتتكون زغبات (Flocs) من الأيدروكسيدات. تزامن تكـــون زغبـــات الترويب وفقاعات الغاز يؤدى إلى توجيه فقاعات الغاز إلى الزغبات وزيادة كفـــاءة ترويب الملوثات، وهذا يزيد من كفاءة عملية الطفو.

تستخدم المعالجة بالترويب والطفو فى معالجة مياه الصرف من عملية تصنيـــع المواد البترولية، وصناعة الورق ولب الورق، وصناعـــة البويـــات واللاكيـــهات، وكذلك فى معالجة مياه الصرف من صناعة المنسوجات فـــى مراحـــل الصباغـــة والتجهيز.

٥- الأكسدة الكهروكيميائية:

فى بطاريات الأكسدة الكهروكيميائية تستخدم آنودات من مواد غير مذابة مثـــل أقطاب الجرافيت، ثانى أكسيد الرصاص، المنجنيز، أكاســـيد الراثـــيريوم وأكاســـيد الكوبالت التى تغطى أساس من التيتانيوم. أما بالنسبة للكاثود فإنه يصنع عادة مــــن الرصاص أو من سبائك الزنك أو من سبائك الصلب. لزيادة كفاء عمليـــة الأكســـدة الكهروكيميائية يضاف ملح معدنى والذى هو عادة كلوريد الصوديوم حيث يســـاهم فى عملية الأكسدة. هذه الطريقة مناسبة للاستخدام فى معالجة الملوثات العضويـــة وغير العضوية عالية التركيز وحيث يكون حجم مياه الصـــرف صغـــير. عمليـــة

التحليل الكهربى حيث الأكسدة الآنودية تسبب تدمير المواد العضوية مكونه مـــواد وبسيطة أو منتجات نهائية لعملية الأكسدة (مثل الأحماض العضوية، ثـــانى أكسـيد الكربون والماء). هذه الطريقة يوصى بها فى معالجة مياه الصـــرف مـن مـواد الصبغات النيتروجينية (Azodyes). فى حالة الصبغـــات النيتروجينيـة (صبغـات الآزو) فإنه يتأكسد حتى ٩٠% بواسطة الكلور المنتج بالطريقة الكهروكيميائية حيث يكون تركيز كلوريد الصوديوم من ٥-١٠ جرام/لتر، وباقى الـ ١٠% من الصبغة يتأكسد مباشرة.

درجة التنقية بالأكسدة الكهروكيميائية تتوقف على الرقم الهيدروجينى للمجـــال المائى وكذلك على كثافة التيار. فقد وجد أنه لأكسدة محـــاليل صـرف صبغـات الأنتراكينون وصبغات الآزو يلزم توفر مجال مائى متعادل. عملية الأكســدة تتـم بطريقة جيدة عند كثافة تيار منخفض لايزيد عن ٣ أمبير/ديسيمتر مربع فى حالـــة إحتواء مياه الصرف على عدد قليل من أيونات الكلور (١,٩ جرام/لـــتر)، وعنـد كثافة تيار من ٨-٢٠ أمبير/ديسيمتر مربع فى حالة المحتوى العالى من الملح فـــى مياه الصرف حيث يكون تركيز كلوريد الصوديوم ١٠٠ جرام فى اللتر أو أكـــثر. درجة الانخفاض فى الأكسجين الكيماوى (COD) هى حوالى ٨٥%.

المعالجة بالنسبة لمختلف أنواع مياه صرف الصبغات حيـــث المحتـوى مـن (COD) حوالى ١٠ جـــرام/لتر، تتم باستخدام آنودات من الريثيريوم وكثافة تيـــار ١٥ أمبير على الديسيمتر المربع (درجة حرارة ٧٠ْم، الرقم الـــهيدروجينى ٨-٩، كلوريد الصوديوم ١٠٠ جرام/لتر).

العامل الهام فى جدوى إستخدام الطريقة الكهروكيميائية فـــى معالجـة ميـاه الصرف هو كمية الطاقة الكهربية اللازمة. طبقا لبيانات الأبحاث والتجارب التـــى

أجريت فإن كمية الطاقة اللازمة لأكسدة جرام واحد من الصبغة باستخدام الكلور النشط التى ينتج بالطريقة الكهروكيميائية هو ٠,٠٢٥ – ٠,٠٣٥ كيلووات ساعة.

عند التحليل الكهربى لمياه الصرف للصبغات مع استخدام الآنودات التى تذوب فإنه يمكن تحقيق التنقية للمياه أساسا بالترويب الكهربى وإذابة مادة الآنود- إيدروكسيد المعدن المتكونة تعمل على إدمصاص المادة الهلامية من الصبغات وذلك رغم أن عمليات كهروكيميائية أخرى قد تحدث بما يجعل الملوثات نفسها تساهم فى العمل كمروبات. لمعالجة مياه الصرف تستخدم الآنودات المذابة من الصلب ٣ المقاوم، حيث الاستهلاك من الآنود يتراوح مابين ٥ إلى ٢٠٠ جرام/المتر المكعب. يوصى بعمل التحليل الكهربى خلال مجال كبير من كثافة التيار من ٠,٤ إلى ٦ أمبير/ديسيمتر مربع. وأقصى كمية لإزالة الصبغات النيتروجينية (AZO) هو ٠,٤ – ٠,٦ أمبير/ديسيمتر مربع. أيونات الكلور لها تأثير كبير على عملية تنقية المياه. ففى حالة إضافة ١ جرام/اللتر من كلوريد الصوديوم إلى مياه الصرف فإن الوقت اللازم لإزالة اللون ينخفض إلى النصف. الاستهلاك الكهربى للإزالة الكاملة لصبغة الآذو من مياه الصرف المحتوية على ٠,١ جرام/لتر من هذه الصبغات بالتحليل الكهربى باستخدام الآيونات المذابة يقدر بحوالى ٠,١ – ٠,٣ كيلووات ساعة لكل جرام من الصبغة. مقارنة الأكسدة الكهروكيميائية للصبغات والتخلص منها بالترويب الكهربى من وجهة نظر استهلاك الطاقة نجد أن الأكسدة الكهروكيميائية مفضلة إلى حد ما.

بالنسبة لاختزال صبغة الآذو النيتروجينية على كاثود من الحديد فى غشاء مسامى (Diaphragm) لجهاز التحليل الكهربى (Electrolyser) إتضح أنه لتمام إزالة اللون من مياه الصرف عند كثافة تيار عالية (حتى ٧ أمبير / الديسيمتر المربع) فإنه يلزم لكل جرام من الصبغات ٠,٤ – ٠,٤٥ كيلووات فى ساعة والذى يعتبر

أكثر كثيراً عن الطاقة المستهلكة لعمل الأكسدة الكهروكيميائية أو الترويب الكهروكيميائى.

سلبيات طرق الأكسدة (سواء كانت الأكسدة الكهروكيميائية أو بالكلور أو بالأوزون) لمعالجة مياه الصرف هى إستحالة إستعادة الصبغات الموجودة فى مخلفات الصرف وكذلك استهلاك كمية كبيرة من المواد المؤكسدة والطاقة الكهربية وذلك عند إحتواء مياه الصرف على كميات كبيرة من المواد العضوية عموما. ولكن تعتبر المعالجة الكهروكيميائية لمياه الصرف المحتوية على الصبغات أقل فى التكلفة بنسبة الثلث مقارنة بالمعالجة بالكلور بالإضافة إلى إنخفاض المحتوى من الأملاح المعدنية فى المياه المعالجة.

ملحق (هـ)

الكيماويات المستخدمة فى المعالجة الكيماوية للمياه

الغرض من المعالجة الكيماوية لمياه الصرف والمواد الكيماوية المستخدمة موضح فى الجدول التالى:

جدول: الاستخدامات الرئيسية لبعض الكيماويات فى المعالجة لمياه الصرف

المواد الكيماوية	الإستخدام الرئيسى
١- السيليكا المنشطة ($Si O_2$)	المساعدة فى الترويب
٢- كبريتات الألومونيوم - الأمونيوم $AL_2 (SO_4)_3 . (NH_4)_2 SO_4 . 12 H_2O$	الترويب
٣- الأمونيا الرطبة أو اللامائية NH_3 Or $NH_4 OH$	إضافة الغذاء للبكتريا فى المعالجة البيولوجية
٤- كبريتات الألومنيوم (الشبه - Alum) $AL_2 (SO_4)_3 . XH_2O$	الترويب، إزالة الفوسفور من مياه الصرف (الصحى - الصناعى - الزراعى)
٥- كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2 SO_4$	تنشيط السيليكا
٦- طفلة البنتونيت	المساعدة فى الترويب
٧- ايدروكسيد الكالسيوم. الجير الحى (CaO) أكسيد الكالسيوم الجير المطفى $Ca (OH)_2$ ايدروكسيد الكالسيوم	الترويب، التعادل للمياه الحامضية، إزالة الفوسفور

المواد الكيماوية	الإستخدام الرئيسى
٨- ثانى أكسيد الكربون CO_2	التعادل، إعادة الكربنه
٩- كبريتات الحديدوز المكلوره (Chlorinated Copperas) $Fe(SO_4)_2 - Fe\,CL_2$	الترويب
١٠- كلوريد الحديديك $Fe\,cl_3 . 6\,H_2O$ Or $Fe\,cl_3$	الترويب إزالة الفوسفور
١١- حامض الهيدروكلوريك (HCL)	التعادل، ضبط الرقم الهيدروجينى
١٢- حامض النيتريك (HNO_3)	التعادل، ضبط الرقم الهيدروجينى للمياه القلوية، إضافة الغذاء لبكتريا المعالجة البيولوجية
١٣- حامض الفوسفوريك H_3PO_4	إضافة الغذاء لبكتريا المعالجة البيولوجية
١٤- البلمرات (Polyelectrolytes)	التزغيب (Flocculation)
١٥- ألوميتات الصوديوم ($Na_2AL_2O_4$)	الترويب، ترسيب الفوسفور
١٦- كربونات الصوديوم (الصودا آشن)	ضبط الرقم الهيدروجينى
١٧- الصودا الكاوية Na (OH)	التعادل، ضبط الرقم الهيدروجينى
١٨- حامض الكبريتيك (H_2SO_4)	التعادل، ضبط الرقم الهيدروجينى، تنشيط السيليكا.

وتستخدم هذه الكيماويات فى الآتى:

١- التزغيب والترويب والمساعدة فى الترسيب.

٢- الترسيب أو عدم الإذابة للمواد المذابة.

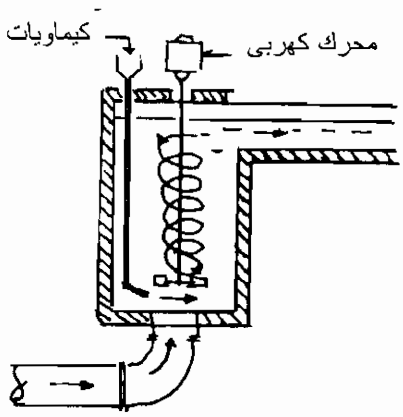
٣- ضبط الرقم الهيدروجينى.

٤- إضافة الغذاء للنظم البيولوجية.

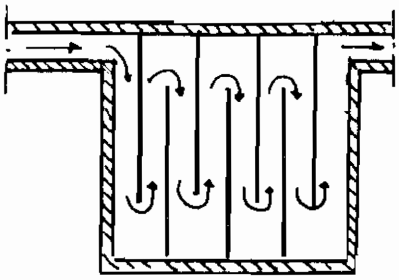
تعاريف ومصطلحات:

١ - الترغيب (Flocculation)

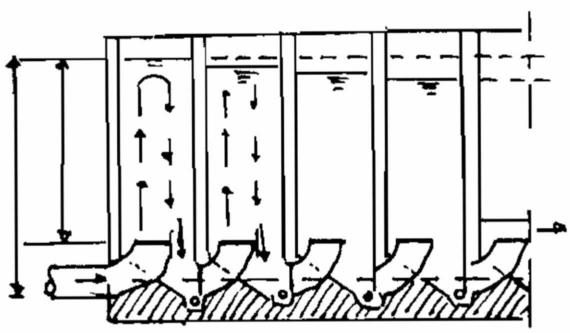
الترويب هو عدم الثبات بتعادل الشحنة للأجسام العالقة والإلتصاق الأولى للمواد صغيرة الحجم والهلامية العالقة بمواد الترويب غير العضوية ويتم ذلك بالخلط السريع شكل (١/هـ).



خلط ميكانيكى سريع



خلط هيدروليكى سريع



مزغب ألاباما

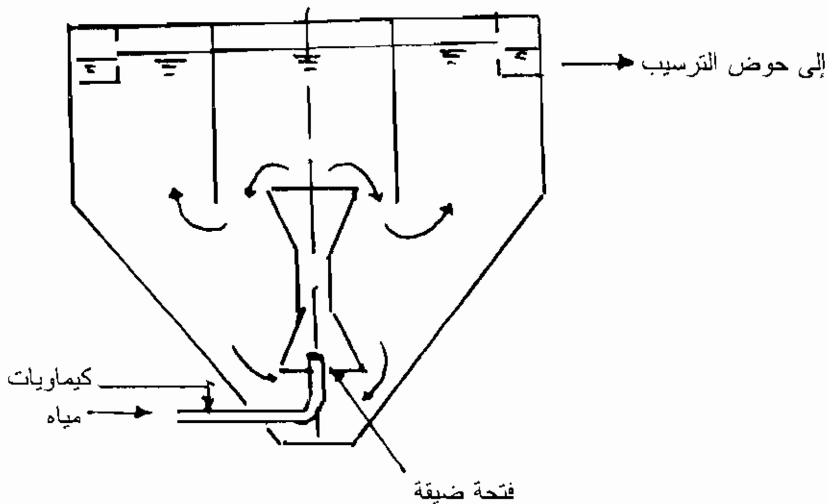
شكل (١/هـ) أنواع تجهيزات الخلط السريع لتكوين الزغبات

٢- مساعدات الترويب: (Coagulant Aids)

وتسمى كذلك المزغبات (Flocculant)، وهى مواد عضوية من البلمرات (Polyelectrolytes) الإليكتروليتيه. تستخدم فى المساعدة وتحسين الترويب.

٣- الترويب: (Coagulation)

ويتم بالخلط البطئ بعد مرحلة التزغيب للمياه حيث تجميع والتصاق الزغبات المنكونه وبذا يزداد حجمها وكثافتها وتصبح قابلة للترسيب شكل (٢/هـ).

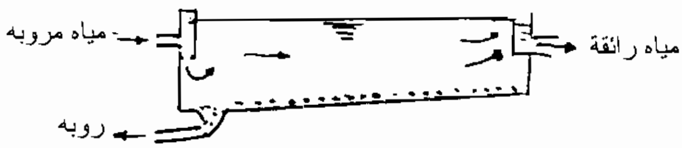


شكل (٢/هـ) الخلط السريع والخلط البطئ فى حوض واحد

٤- الترسيب: (Precipitation)

فى التفاعلات الكيماوية تحدث ظاهرة الترسيب عندما تتحول المادة المذابة فى محلول إلى الشكل الصلب غير المذاب نتيجة التفاعل الكيماوى فى أحواض الترسيب شكل (٣/هـ) الذى يوضح بعض نماذج لأحواض الترسيب

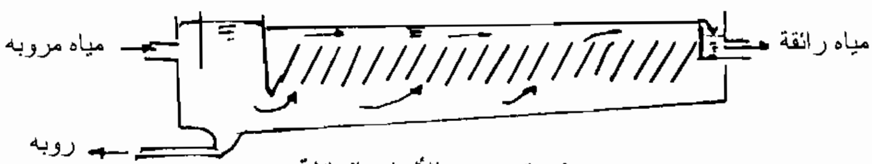
المستطيلة وذات القاع الواحد ومتعددة القاع وذات الألواح المائلـــة وأحـــواض الترسيب بالألواح المائلة المستديرة شكل (٣/هــ).



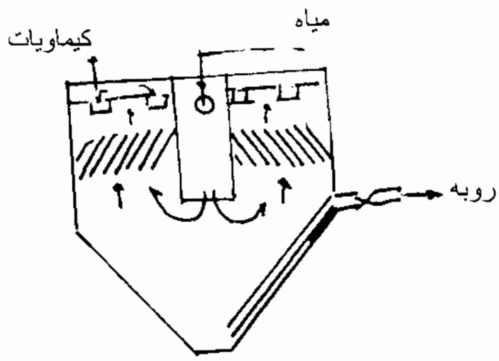
حوض ترسيب مستطيل بالتدفق الأفقى



حوض ترسيب متعدد القاع



حوض ترسيب بالألواح المائلة



حوض ترسيب بالألواح المائلة

شكل (٣/هــ) نماذج لأحواض الترسيب

معدل التحميل السطحى لحوض الترسيب هو معدل التدفـــق مقســوماً علــى المساحة السطحية للحوض. (مثال: التحميل السطحى لحوض ترسيب مســاحته السطحية ٣٠ متر مربع ومعدل التدفق للمياه ٦٠م^{3}/ث = $\frac{\text{٦٠م}^{3}\text{/ث}}{\text{٣٠ م}^{2}}$ = ٢م/ث).

ملحق (و)

الإدمصاص بالكربون المنشط

Activated Carbon Adsorbtion

الإدمصاص بالكربون المنشط (Activated Carbon Adsorbtion):

استخدم الكربون المنشط فى نظم المعالجة لمياه الصرف التى تم معالجتها بيولوجيا حيث تمثل المعالجة بالكربون المنشط صورة من صور المعالجة الثلاثية. كما استخدم الكربون المنشط بدرجة أقل فى محطات المعالجة الكيماوية – الطبيعية التى تستخدم الترويب الكيماوى والترشيح لإزالة الفوسفور والمواد الصلبة العالقة والإدمصاص بالكربون لإزالة المواد العضوية.

وصف العملية:

عند التصاق الكربون المنشط مع المياه المحتوية على مادة عضوية فإنه يزيل هذه المادة وذلك بإدمصاص الجزئيات ذات الاستقطاب (التأين) المنخفض، والترشيح للأجسام الكبيرة والحجز الجزئى للمادة الهلامية على السطح الخارجى للكربون المنشط. إزالة المواد العضوية بالإدمصاص يعتمد على التسرب إلى ثقوب إدمصاص الكربون خلال السطح الخارجى. حقيقة أن الكربون المنشط له مساحة سطحية عالية النشاط وكبيرة مقارنة بوحدة الوزن بما يجعله مادة إدمصاص

ذات كفاءة عالية. المساحة السطحية الكبيرة والنشاط لهذا السطح هو نتيجة لعملية التنشيط التى تنتج ثقوب كثيرة خلال حبيبة الكربون مع خلق مواقع نشطة على أسطح هذه الثقوب. طاقة الإدمصاص للكربون المنشط يحدث لها تشبع عند إمتلاء المسام المنشطة حيث يعتبر الكربون أنه استنفذ ويلزم تنشيطه.

طرق تنشيط حبيبات الكربون:

١-تمرير بخار الماء تحت ضغط منخفض خلال طبقة الكربون لتبخير وإزالة المادة العضوية التى تم إدمصاصها.

٢-استخلاص المواد الممتزة بواسطة مذيب.

٣-التنشيط بالطرق الحرارية.

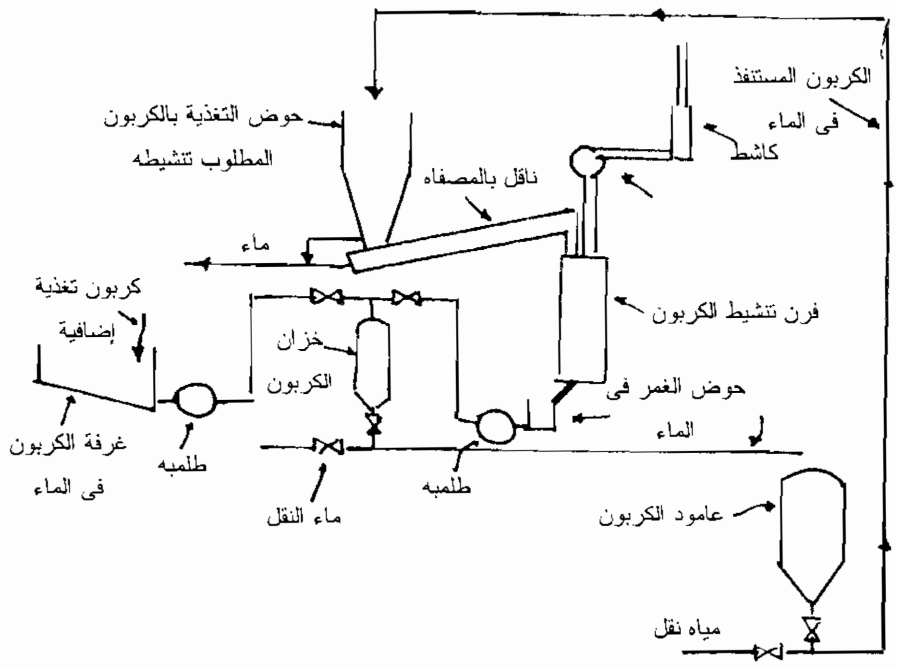
٤-تعرض الكربون إلى الغازات المؤكسدة.

فى التطبيقات الصناعية استخدم التنشيط الحرارى للكربون، وذلك باستخدام الفرن الدوار (Rotary Kiln) والفرن متعدد المجمرة (Multiple Hearth Furnance). فى حالة الفرن الدوار يتحرك الكربون فى إتجاه معاكس لخليط من غازات الاحتراق والبخار المحمص حيث يتم إستعادة الكربون بنسبة ٩٠ – ٩٥%. فى حالة الفرن متعدد المجمرات فإنه يتم تسخين الفرن بما يكفى لحرق أول أكسيد الكربون والهيدروجين الناتج عن تفاعل التنشيط. يتم تحريك وتقليب الكربون بواسطة عامود إدارة مركب عليه ريش تقليب وذلك لرفع الحبيبات الجديدة إلى السطح باستمرار. نسبة الإستعادة ٩٠ – ٩٥ مع قدرة إدمصاص للكربون المنشط تشبه تلك للكربون الجديد.

مخطط التنشيط يشمل:

- النقل الهيدروليكى للكربون فى الماء (Slurry) إلى وحدة التنشيط.
- التغذية للفرن لتبخير الماء وأكسدة الملوثات التى تم إدمصاصها.
- تبريد الكربون بالماء.
- الغسيل بالماء والنقل الهيدروليكى للكربون ثانيا إلى أعمدة إعادة الاستخدام.

الشكل (١/و) يوضح نظام نقل وتنشيط الكربون.



شكل (١/و) نظام تنشيط ونقل الكربون

التطبيقات:

تستخدم حبيبات الكربون المنشط فى معالجة مياه الصرف كعملية معالجة ثلاثية بعد المعالجة الثنائية البيولوجية لإزالة المتبقى من المواد العضوية القابلـــة للتحلـــل البيولوجى بالإضافة إلى المواد الصلبة العالقة، وكذلك المواد العضوية غير القابلـــة للتحلل البيولوجى (Refractory) والمركبات غـــير العضويـــة مثـــل النيـــتروجين والكبريتيدات (Sulphides) والمعادن الثقيلة المتبقية وذلـــك فـــى حالـــة المعالجـــة بالكيماويات لمياه الصرف حيث تزال كذلك المواد العضوية المتبقيـــة. فـــى حالـــة استخدام بودرة الكربون المنشط فإنه يتم إضافتها فى مرحلة المعالجـــة البيولوجيـــة الثانية حيث تزال فى أحواض الترسيب ولايعاد استخدامها.

Membrane Processes

أنواع عمليات الأغشية:

توجد أنواع معينة من الأغشية تستخدم لفصل الأملاح المذابة بعدة طرق وهى:

التناضح العكسى (Reverse Osrnosis - RO)

الديلزة الكهربية (Electro Dialysis - ED)

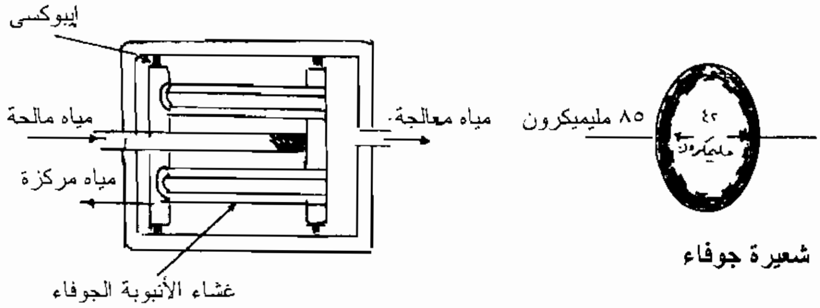
الترشيح بأنواعه:

- الترشيح الفائق.
- النانو فلتر.
- الميكروفلتر.

١- التناضح العكسى: شكل (١/ز)

التناضح العكسى هو باستخدام الغشاء الذى يعمل كمرشح لجزئيات المواد المذابة، فهو يزيل حتى ٩٠% من كل الأملاح المذابة، حتى ٩٧% من كل المواد العضوية المذابة، أكثر من ٩٨% من المواد الهلامية (Colloidal) والبيولوجية من

الماء والتى تصل تركيزاتها من ٥٠ جزء فى المليون حتى ٦٠٠٠٠ جزء فى المليون.



شكل (١/ز) الشعيرة الجوفاء فى التناضح العكسى

بالإضافة إلى إمكانية إعزاب مياه البحر والمياه قليلة الملوحة، فإن التناضح العكسى يستخدم فى التخلص من المواد العضوية الطبيعية والمخلقة المذابة فى الماء. كلما زاد الوزن الجزئى كلما زادت إمكانية الحجز للغشاء، وكذلك تزال كلا من البكتريا والفيروسات. بالنسبة للمعادن الثقيلة فإن نسبة الإزالة عالية. كذلك يزيل التناضح العكسى المواد المشعه. الاستخدام الرئيسى للتناضح العكسى هو لإنتاج المياه المستخدمة فى الأغراض الطبيه ولإنتاج البخار فى عمليات كى الملابس بالبخار ولأغراض الترطيب هذا بالإضافة إلى استخدام هذه الطريقة فى إنتاج مياه الشرب وذلك عند زيادة ملوحة المياه المعالجة طبقاً للمعايير المقررة.

الضغط الأسموزى هو الظاهرة التى تحدث أحيانا عند تدفق الماء (أو أى مذيب آخر) خلال غشاء شبه نفاذ، أى الغشاءالذى يسمح بمرور المذيب وليس المواد المذابة. المحاليل التى تفصل بمثل هذا الغشاء تميل إلى أن تتساوى فى التركيز للجزئيات، وبهذا فإن الماء سوف يتدفق خلال الغشاء الشبه نفاذ من

المحلول الأقل تركيزا إلى المحلول الأكثر تركيزا حتـــى الوصـــول تقريبـــاً إلـــى تركيزات متساوية. تدفق الماء خلال الغشاء يوجد ضغط يسمى الضغط الاســموزى تدفق المياه خلال الغشاء يتوقف على الضغط المســـتخدم علـــى الميـــاه الجـــارى معالجتها. فمع زيادة الضغط على المياه أكثر من الضغط الاسموزى، فـــإن تدفـــق المياه خلال الغشاء يزداد، وبذا تزداد كمية المياه المنتجة مع زيادة الضغط، ويقـــل معدل تدفق المياه خلال الغشاء مع زيادة ملوحة المياه المعالجة نظراً لزيادة الضغط الاسموزى.

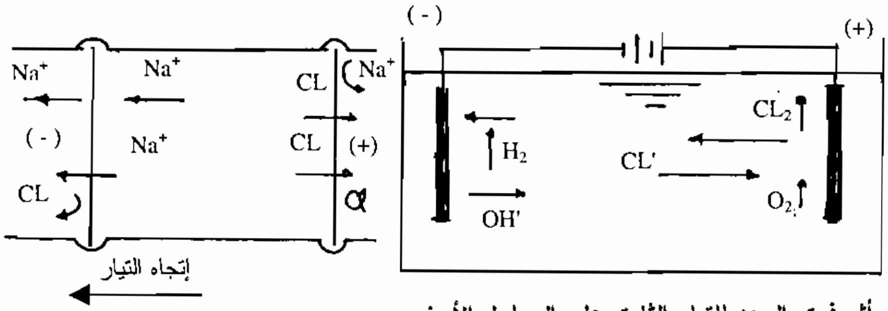
المياه الجوفية هى المصدر المفضل لإزالة الملوحة بالضغط الاسموزى وذلـــك نظراً لثباتها الكيماوى وخلوها من المواد العالقة. ولكن نظراً لأن من أسباب تلـــوث وتلف الأغشية ترسيبات الحديد والمنجنيز وذلك فى حالة تعرض الميـــاه الجوفيـــة المحتوية على الحديد والمنجنيز المذاب للهواء الجوى وأكسدة الحديـــد والمنجنـــيز. ولذلك فعند معالجة المياه الجوفية المحتوية على الحديد والمنجنيز المذاب فإنه يلـــزم عدم تعرض المياه للهواء الجوى قبل دخولها لجهاز التناضح العكسى.

وفى حالة إزالة الملوحة من المصادر السطحية فإنه يلزم عمل معالجة إضافيـــة مسبقة لمواجهة التغيرات الموسمية فى المياه ولإزالة المواد العالقـــة. يلـــزم دائمـــا إضافة كيماويات لمنع حدوث الترسيبات. عادة يضاف حامض الكبريتيك بتركـــيز ٩٣% إلى المياه لمنع ترسيب أمـــلاح الكبريتـــات علـــى الغشـــاء بمعـــدل ٥-١٠ ملجرام/لتر. الغشاء المستخدم فى التناضح العكسى لإعـــزاب المياه ذات محتـــوى من الأملاح المذابة المرتفعة مثل مياه البحار يكون من أستيات الســـيليلوز أو مـــن البولى آميد أو البولى إيثربولى أميد بولى سولفين.

يختلف الحجز للمواد طبقاً للغشاء المستخدم وتركيز المياه الداخلـــة والتكـــافؤ الكيماوى للأيونات وعوامل أخرى.

٢- الديلزة الكهربية: (Electrodialysis - ED) شكل (٢/ز)

الفصل الكيميائى الكهربى أو الديلزة الكهربية هى عملية فصل نتيجة إنتقال الأيونات إلى أغشية آن أيونية وأغشية كاتأيونية من محلول أقل تركيز إلى محلول أكثر تركيزاً وذلك نتيجة التدفق لتيار كهربى ثابت. وتستخدم الديلزة الكهربية فى معالجة المياه المملحة (Brakish Water) لتكون صالحة للشرب أو لإزالة الأملاح أو لتركيز المحاليل بهدف إعادة الاستخدام.



أثر فرق الجهد للتيار الثابت على المحلول الأيونى

شكل (٢/ز) نظرية استخدام الديلزة الكهربية (الفرز الكهربى) الإليكتروديالسيس

أ- حركة الأيونات:

لتفهم الديلزة الكهربية (ED) فإنه يلزم تفهم تأثير التيار الثابت على محلول أيوني. بفرض حوض مستطيل مزود بقطب عند كل جانب. الحوض مملوء بمحلول كلوريد الصوديوم وعند مرور تيار ثابت عبر القطبين فإن الكاتأيونات (Na^+) تنجذب نحو القطب السالب والذى يسمى الكاثود بينما الآن أيونات الكلور (CL) تنجذب نحو القطب الموجب والذى يسمى الآنود. عند الكاثود يحدث تفاعل الاختزال التالى لأيون الهيدروجين نتيجة تحلل الماء.

$$2\,H_2O = 2\acute{e} \rightarrow 2\,OH' + H_2\uparrow$$

وعند الآنود يحدث تفاعل الأكسدة التالى لأيون الايدروكسيد

$$2\,OH' \rightarrow 2\,H^+ + O_2\uparrow + 2\acute{e}$$

وقد يحدث عند الآنود كذلك تفاعل يشمل تكون غاز الكلور

$$2\,Cl' \rightarrow Cl_2\uparrow + 2\acute{e}$$

أغشية الديلزة الكهربية هى أساسا راتنجات فى شكل رقائق مسطحة كاتأيونيـــة أو آن أيونية. الأيونات تمر خلال الغشاء الآن أيونـــى بينمـــا الأيونـــات الموجبـــة تحتجز، وعلى العكس الأيونات الموجبة تمر خلال الغشاء الكاتأيونى بينما الأيونـات السالبة تحتجز الأيونات التى مرت خلال الأغشية الآن أيونية والأغشية الكاتأيونيـــة تجمع فى حوض تجميع حيث يتكون محلول ملحى مركز.

الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية هى أغشية موصلة للكهرباء وهى غير منفـــذة للمياه تحت الضغط.

عند تمرير تيار كهربى ثابت فى مصفوفة الديلـــزة الكهربيـــة حيـــث الميـــاه المحتوية على الأيونات المذابة يتم ضخها بين الغشاء الكاتأيونى والآن أيونى وذلـك خلال مجرى من البولى إيثيلين. عندئذ فإن كل الكاتأيونات تتحرك نحـــو القطـــب السالب (الغشاء الكاتأيونى) وتحتجز عند القطب الموجـــب (الآن أيونـــى). وعلـــى العكس فإن الآن أيونات تمر خلال القطب الموجب (الغشاء الآن أيونى) وتحتجـــز عند القطب السالب (الكاتأيونى). وفى هذه الحالة فإن الأيونات المزالة تترك خلفـــها مياه مخففة أو مزالة أيوناتها.

تغير وتبديل الأقطاب (EDR - Polarity Reversal)

بدلا من الديلزة الكهربية التقليدية حيث الاتجاه الواحد لحركة الأيونـــات، فـــإن الديلزة العكسية بتغير وتبديل الأقطاب حيث يتم عكس وتغير الأقطاب لدورة زمنيـــة

محددة وهى حوالى ١٥-٢٠ دقيقة. التغير فى الشحنة الكهربية للقطب عبر منظومة الغشاء يغير فى إتجاه حركة الأيونات، حيث يحدث تبادل لتدفق الأيونـــات وكذلـــك المياه المحلاه والمركزة. يحدث التغير فى إتجاه التدفق آليا بواسطة المحابس.

القطبية المعكوسة توفر الغسيل الآلى للمواد المكونة للترسيبات من على ســطح الغشاء، حيث تتطلب معالجة مسبقة قليلة وقد لاتحتاج لها ذلك لتقليل الترسيبات على الأغشية والذى قد تسببه المياه الداخلة للمعالجة.

الاعتبارات التصميمية لنظام الديلزة الكهربية:

- نسبة تركيز الأيونات يجب أن يظل أقل من ١٥٠ : ١ (المياه المركزة مقــابل المياه المحلاه) ويمكن أن تزداد هذه النسبة إلى ٢٠٠ : ١ أو ٢٥٠ : ١.
- يتم التغذية بمياه المصدر إلى طلمبة التغذية بضغط ٠,٢ إلى ٢ جوى. طلمبــة التغذية تضخ المياه إلى خرطوشة المرشح تحت ضغـــط ٥-٦ جــوى (ذات المسام ١٠ ميكروميتر).
- المياه الداخلة تتطلب معالجة مسبقة عادة إذا كانت تحتوى على كلـــور حـــر أكثر من ٠,٥ جزء فى المليون، حديد أكثر من ٠,٣ جـــزء فـــى المليـــون، كبريتيد الهيدروجين أكثر من ٠,٣ جزء فى المليون، عكـــارة أكـــثر مـــن ٢ نيفيلومترى، أو منجنيز أكثر من ٠,١ جزء فى المليون.

أقصى إزالة للأملاح هى من ٤٠ - ٥٠% لكل مرحلة هيدروليكية تســـتخدم طريقة EDR & ED لمعالجة المياه المملحة (Brakish) لإعدادهـــا للشـــرب، كذلك لازالة الأملاح ولإعادة الاستخدام لمياه الصرف الصناعى.

٣- الترشيح خلال الأغشية: (Membrane Filtration)

أ- الترشيح الفائق: (Ultra Filtration)

الترشيح الفائق هو عملية ترشيح تتم بالضغط لتركيز المحاليل المحتوية على مواد هلامية ومواد ذات وزن جزيئ عالى، وهو يحجز المواد غير المتأنية ويمرر المواد المتأنية وذلك طبقا لقدرة الحجز للوزن الجزيئى للغشاء، حيث يعتبر الوزن الجزيئ كدليل تقريبى لحجم الجزئ، حيث تتوقف نسبة الحجز للغشاء على شكل الجزيئ وحجمه وشحنته.

إستخدم الترشيح الفائق للمعالجة المسبقة لمياه البحر قبل معالجتها بطريقة التناضح العكسى وذلك لإزالة الكربون العضوى، العكارة والمواد العالقة من مياه الصرف قبل إعادة الاستخدام أو الحقن الجوفى.

ب- النانو فلتر: (NF - Nano Filtration)

يسمى النانو فلتر غشاء إزالة العسر، نانو تعنى ($١٠^{-٩}$) وهو حجم الثقب للغشاء. النانو فلتر غشاء يعمل بضغط منخفض جداً. ويمرر فقط الأجسام أصغر من واحد نانو مليمتر (A10). النانو فلتر لايمرر بنسبة عالية الأيونات ثنائية التكافؤ مثل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم ولكنه يمرر الأيونات أحادية التكافؤ بنسبة عالية.

جـ- الميكرو فلتر: (Micro Filtration)

وهو يمرر الأجسام ذات الحجم الميكرومترى $١٠^{-٦}$ مليمتر فى محلول عبر مادة الغشاء. الميكروفلتر يعمل على ترويق المياه والسوائل الأخرى وذلك بحجز الأجسام العالقة والكائنات الدقيقة على سطح الغشاء أو داخل المرشح بينما يمرر المواد المذابة والماء.

المراجع

1- Gene v. Beeland, Water Resources and Pollution Control. Published by Van Nostrand Reinhold Company.

2- California Dept. of water Resources "Industrial water use" Bulletin No. 166.1 (1968).

3- American Water Works association Committee on Industrial water Handling AwwA 65.5 (1973).

4- Publications of AWWA About Treatment Technology of Industrial Waste water (1980).

5- Progress Reports: Physical - Chemical Treatment of Industrial Waste water EPA Eimco Corp (1973).

6- Berry - Chemical Engineers Hand book McGrow Hill - (1978).

7- Publications of the American Aid About water Management Strategy (1991).

رقم الإيداع : ٢٢٩٦٢ / ٢٠٠٥

عربية للطباعة والنشر
٧-١٠ شارع السلام أرض اللواء المهندسين - تليفون : ٣٢٥٦٠٩٨ -٣٢٥١٠٤٣